Dumitru Codăuş   Daniel Codăuş

DO RE MI ELECTRONIC

SERIA INITIERE ABC SERIA INITIERE ABC SERIA INITIERE ABC

AUTOMATICĂ
INFORMATICĂ
ELECTRONICĂ
MANAGEMENT

SERIA INIȚIERE
ABC

BIBLIOTECA DE AUTOMATICĂ INFORMATICĂ ELECTRONICĂ MANACEMENT

Seria INIŢIERE

E. VASILIU
INIŢIERE ÎN DISPOZITIVELE SEMICONDUCTOARE
D. STANOMIR
INIŢIERE ÎN ELECTROACUSTICĂ
J. O. WARNIER, B. MI FLANAGAN
INSTRUIRE ÎN PROCRAMARE
Traducere din limba franceză
I. H. BERNHARD, B. KNUPPERTZ
INIŢIERE ÎN TIRISTOARE
Traducere din limba germană
W. DEPPEERT, K. STOLL
INIŢIERE ÎN PNEUMOAUTOMATICĂ
Traducere din limba germană
E. VASILIU
INIŢIERE ÎN RADIOELECTRONICA CUANTICĂ
V. POPESCU
INSTRUIREA PROGRAMATĂ ÎN CALCULATOARE NUMERICE
ŞT. BÎRLEA
INIŢIERE ÎN CIBERNETICA SISTEMELOR INDUSTRIALE
I. PAPADACHE
AUTOMATIZĂRI INDUSTRIALE, INIŢIERE, APLICAŢD
ŞT. NICULESCU
FORTRAN INIŢIERE ÎN PROCRAMARE STRUCTURATĂ
J. FORRESTER
PRINCIPIILE SISTEMELOR : TEORIE ŞI AUTOINSTRUIRE PROGRAMATĂ
Traducere din lb. engleză — S.U.A.
P. ORANSFIELD, O. F. HABER
INSTRUIRE PROGRAMATĂ ÎN METODA LOCULUI RĂDĂCINILOR
R. BĂRSAN
OISPOZITIVE ŞI CIRCUITE INTECRATE CU TRANSFER DE SARCINĂ
MARGARETA ORĂGHICI
INIŢIERE ÎN COBOL
STELIAN NICULESCU
INIŢIERE ÎN POBTRAN
PAUL CONSTANTINESCU ŞI ZAHARIA NICOLAE
INIŢIERE ÎN ORGANIZAREA ŞI PROIECTAREA SISTEMELOR DE CONDUCERE
I. V. OUMITRESCU ş.a.
INIŢIERE ÎN TELEPRELUCRAREA DATELOR
L. DUMITRAŞCU ; ŞT. STAN ; ŞT. PETRUŢ
ÎNVĂŢĂM FORTRAN... CONVERSÎND CU CALCULATORUL
NICULESCU CL., IOSIF I.
INIŢIERE ÎN COMUNICAŢIILE PRIN FIBRE OPTICE—
L. OUMITRAŞCU
ÎNVĂŢĂM COBOL... CONVERSÎND CU CALCULATORUL
O. CSABAY
TEHNICA SONORIZĂRD
Traducere din lb. maghiară.
O. ROOY
INIŢIERE ÎN MICROELECTRONICĂ
Traducere din lb. engleză.
R. NECOESCU
INIŢIERE ÎN ELECTRONICA BIOMEDICALĂ

Ciclul ARC

W. TRUSZ
ABC-UL REPARĂRII RADIORECEPTOARELOR
Traducere din lb. polonă
A. POPA
ABC DE PROTECŢIA MUNCII
I. CREŢU
INIŢIERE ÎN ESTETICA PRODUSELOR
E. AISBERG
ABC DE RADIO ŞI TELEVIZIUNE
Traducere din limba franceză

DUMITRU CODĂUȘ DANIEL CODĂUȘ

DO-RE-MI . . . electronic

Editura Tehnică
București — 1986

Redactor : ing. **Smaranda Dimitriu**
Tehnoredactor : **Maria Trăsnea**
Coperta : arh. **Silvia Mîrțu**

Bun de tipar : 04.02.1986
Coli de tipar : 9 ; C.Z. : 621

Întreprinderea Poligrafică Oltenia
„Craiova" Cd. 271

DIN PARTEA AUTORILOR

Puţini contemporani ai acestui secol răsfăţat de civilizaţie fac deosebiri esenţiale între creaţia artistică şi cea ştiinţifică. În susţinerea celor afirmate mai sus se enumeră trei din însuşirile esenţiale şi comune tuturor creatorilor : imaginaţia, capacitatea de înţelegere şi experienţa. Dar, fără a ne lăsa înşelaţi de similitudinea „peisajului" psihologic în care sîntem tentaţi să intrăm, observăm că alăturarea a trei cuvinte : sunet, electronică, om — ne face să realizăm oarecare legătură.

Conţinutul adînc uman redat de imaginile sonore, care deşi nu posedă precizіunea concretă a cuvîntului şi nici perceperea exactă a desenului, pătrunde în structura noastră psihică îndemnîndu-ne la o veritabilă reconsiderare filozofică a propriului eu.

Cît de variată şi de frumoasă este lumea sunetelor care ne înconjoară ! Vocea omenească, bubuitul trăznetului, zgomotul terapeutic al valurilor, susurul pîrîului, ţipetele animalelor, cîntecul păsărelelor... creează plăcuta relaţie om — mediu înconjurător.

Un fapt surprinde însă : sunetele durează doar cît ecoul lor. Unde se pierd ele ?

Încă din timpuri străvechi, oamenii au învăţat să deseneze diferite obiecte şi animale şi să cioplească în piatră chipuri. Putem şi azi vedea în unele peşteri imaginea unor lucruri şi fiinţe care au trăit demult, în negura vremurilor. Deşi lumea s-a dezvoltat într-un leagăn de sunete şi zgomote, noi nu ştim azi ce structură aveau acestea.

De ce oare cu sunetele, lucrurile nu s-au petrecut la fel ca şi cu pictura ? Nu mai putem auzi un glas din trecutul îndepărtat, un cîntec de odinioară sau zgomotele bătăliilor istorice. Motivul constă în faptul că oamenii nu cunoşteau tehnica înregistrării sunetelor. Sunetul se năştea şi pierea, ca şi cum s-ar fi risipit în spaţiu. Şi totuşi au ajuns pînă la noi date despre muzica popoarelor antichităţii, după cum se va vedea.

Deci ceea ce părea înainte cu totul imposibil azi este realizabil. Oamenii au învăţat să „înscrie" sunetele şi să le reproducă oricînd doresc. Electricitatea „ştie" printre altele, să şi cînte. Nu de mult timp, ci doar de un secol (1878). Îmbinînd apoi „fonograful" lui Edison cu amplificatorul electronic, acustica muzicală a intrat într-o etapă nouă în care, iluzia perfectă a realităţilor sonore a depăşit aşteptările. Mai ales în combinaţie cu lumina, universul mijloacelor audiovizuale a devenit „videoson", „muzică şi culoare", uneori chiar şi cu „miros" dar probabil că n-o să percepem vreodată muzica cu... nasul.

Au fost scrie multe cărți despre muzică. In unele sînt redate viețile marilor muzicieni, în altele compozițiile lor. Există și manuale la dispoziția interpreților vocali sau a instrumentiștilor.

S-au scris mai puține cărți, însă, pentru cei care nu „fac" muzică ci doar o ascultă și nu posedă o educație muzicală, neînțelegînd-o ca atare. Se cere o lămurire și înțelegere a genezei și conținutului artei sunetelor.

Firește că nu intenționăm să facem din prezenta lucrare o enciclopedie muzicală, nici un tratat sau un manual de teorie sau studiu muzical individual. Am dori ca această carte să fie o treaptă care urcă la o alta mai înaltă. Și nu tot ce se citește aici are aceeași însemnătate practică pentru iubitorii de muzică — muzicieni și ascultători.

In alt înțeles, această carte, deși se adresează tuturor iubitorilor de muzică (și cine nu e ?), dorește să suplinească o carență informațională privind lămurirea unor noțiuni și fenomene de bază legate de actul muzical cu implicațiile și aplicațiile lui, în legătură cu fenomenele fizice și matematica, adică științele exacte.

Muzica este studiată de milenii mai mult sub aspectul specific (instrumente, teorie, estetică, execuție) și în evoluția ci s-a bucurat încă din antichitate de atenția unor mari matematicieni și filozofi (Pitagora, Platon, Aristotel etc.).

Plecînd de la această idee, autorii s-au străduit să elaboreze o lucrare care să facă legătura între arta sunetelor și electronică, într-o formă de redare accesibilă cititorilor amatori de construcții de instrumente muzicale și imitații electronice.

Este cunoscut faptul că există o analogie evidentă între acustică și electronică, ambele avînd la bază fenomenul oscilațiilor mecanice respectiv electromagnetice cu caracteristici ce poartă denumiri identice : amplitudine, frecvență, lungime de undă, viteză de propagare, captare, redare etc.

In ceea ce privește tehnica imitării sunetelor pe cale electronică, ea se folosește de o serie de descoperiri, pe baza cărora pot fi reproduse procese sau fenomene care pînă acum se obțineau pe alte căi. Astfel sunetul unui pian, vocea umană, trilurile unei păsărele, bîzîitul țînțarului și multe alte aplicații vor fi prezentate atît teoretic cît și constructiv în conținutul cărții. Acestea au la bază același principiu ca „ilustratele sonore", „roboții vorbitori", „soneriii muzicale" etc.

In țara noastră, un mare număr de amatori radioelectroniști se bucură de posibilitatea oferită de o gamă largă de piese și aparatură electronică destinată atît nevoilor populației cît și constructorilor începători și avansați, dornici de a cunoaște cît mai multe din tainele științei.

Montajele propuse spre construire în capitolul VI („Instrumente muzicale") conțin componente electronice moderne, discrete (RLC, diode, tranzistoare), circuite integrate — monocip și multicip, prezentate în capitolul IV și figurile 23 și 71.

Din rîndul acestor pasionați, care se pregătesc fie pe băncile școlilor și facultăților, fie în cercuri cultural-științifice, fiind în legătură permanentă cu practica și producția din laboratoare și atelierele școală, avînd la bază o literatură de

specialitate adecvată, vor fi atrași mulți tineri spre crearea de bunuri materiale, condiție a dezvoltării societății.

Experimentarea și construirea diverselor montaje electronice, captivante atît prin scopul în sine, de a obține un instrument sonor cît și prin gradul mic de dificultate (utilizînd componente ușor de procurat) cititorul va avea satisfacția aprofundării fenomenelor acusticii precum și formarea unor deprinderi de înaltă tehnicitate.

Și acum vă dorim S U C C E S la lucru !

Autorii

CUPRINS

Din partea autorilor 5

Capitolul I. **Muzica și electroacustica** 11

Așadar, cîntăm de 40 000 de ani 11
Flautul devine orgă 13
Evoluția coardelor sonore 14
Instrumente electrofonice 19
„Electrificarea“ muzicii 23

Capitolul II. **Sunet zgomot muzică** 28

Oscilații și unde 28
Calitățile sunetelor 37
Sunete „zgomotoase“ 46
Sunetul și auzul 48
Ce este muzica ? 55

Capitolul III. **Ora de muzică** 58

Materialul sonor muzical 58
Familia instrumentelor muzicale 67
Instrumentele electrofonice 70

Capitolul IV. **Audio la domiciliu** 73

Surse sonore 73
Componentele circuitelor electronice 76
Traductoare electronice 82

Căşti şi difuzoare 88
Sfaturi practice 91

Capitolul V. **Lanţul electrofonic** . . . 94

Obţinerea şi condiţionarea sunetelor electronice 97
Blocuri de efecte 98

Capitolul VI. **Adaptoare şi imitaţii sonore** 105

Adaptoare . . 106
Imitaţii sonore . . 112
O sonerie cu... cîntec . . 115

Capitolul VII. **Instrumente electromuzicale** 121

Portativul şi gama muzicală 121
Pianul electronic 124
Orgă electronică cu tremolo 127
Miniorgă monofonică 129
Miniorgă cu tremolo 130
Termenvox . . 132
Variofon capacitiv . 135
Accesorii 138
Înregistrarea sunetelor 140
Orgă de lumini . . 140
Anexă 142
Bibliografie selectivă 144

Capitolul I

Muzica și electroacustica

Cadrul sonor se va lărgi mereu în muzica contemporană și vom fi invadați de un ocean de sunete necunoscute încă. Aparate „inteligente" pun cu generozitate la dispoziția maselor farmecul armoniilor nedeformate și îmbogățite prin elemente noi : text și lumină.

Ineditul unor asemenea manifestații de sinteză audio-vizuală cîștigă și mai mult adeziunea spectatorului meloman prin unirea luminilor și umbrelor, ale muzicii, zgomotelor și vocii omenești. Și nu este un lucru ușor ca prin folosirea unui aparataj tehnic adecvat, să creezi forța emoțională de valoare artistică, la un spectacol fără actori ci doar cu unitatea deplină dintre text, sunet și lumină.

Amplificarea sunetelor, stereofonia, reglajul intensității surselor luminoase și o cromatică variabilă, iată componentele majore ale spectacolului modern, care s-a răspîndit din sălile publice, chiar și în casele particulare. Dar o aplicație mai neașteptată a electronicii în muzică este intervenția calculatorului digital atît la compoziție cît și la execuția muzicii. Drumul pînă aici a durat milenii și ținînd seama de limitele spațiului disponibil, vom face măcar o privire de ansamblu, cît se poate de scurtă, deoarece „Noi știm cu adevărat un lucru atunci cînd îi cunoaștem începutul" cum afirma în 1558, la Veneția, muzicianul Gioseffo Zarlino, organist, compozitor și teoretician al Renașterii. Vom vedea evolutiv, prin timp, cum s-a ajuns la stadiul de azi.

AȘADAR, CÎNTĂM DE CIRCA 40 000 DE ANI.

De cînd e lumea, muzica răsună pretutindeni, omul posedînd în el resurse sonore. Printr-o simplă bătaie de palme el produce efecte sonore, comprimînd și destinzînd aerul sub formă de unde elastice. Urletele sălbăticiunilor și țîrîitul greerilor reprezintă sunete muzicale — spun specialiștii, ca și fluierul locomotivelor, pe cînd castagnietele se consideră că produc zgomote. Legea

psiho-fiziologică afirmă că fără sunete muzicale omul nu poate trăi, chiar unele boli (insomnia, hipertensiunea arterială, ulcerul gastric și multe boli nervoase) sînt tratate prin ritmuri, tonalități și intensități diferite.

Din vremi străvechi, cînd zorile culturii abia mijeau, ne-au rămas inscripții despre muzica popoarelor antichității : pe zidurile piramidelor și ale templelor egiptene, pe vasele grecilor antici, se pot vedea desene reprezentînd oameni cîntînd din gură sau din diferite instrumente muzicale. Se cunosc numele unor compozitori din vechime, cît și a unor muzicieni, poeți care cîntau melodiile.

Studiind viața popoarelor tribale, muzicienii au ajuns la concluzia că „la început a fost ritmul", adică primele instrumente au fost acelea bazate pe percuție (lovire). Ritmul străbate muzica și o depășește. Ritmul înseamnă viață : bătăile inimii, mersul, respirația, dansul, valurile, succesiunea zilei cu noaptea etc. La început au fost tobele, timpanele, talerele, xilofonul, trianglul etc.

Muzica a evoluat însă. Bătăile tobei — spun specialiștii — sînt zgomote, nu sunete. Astfel că omul a trebuit să treacă la instrumente mai „sonore". A prelucrat piei, a suflat în trestie, în tulpine, în coarne de ren, în oase găurite și a confecționat clopoței de argilă sau de metal. A folosit tot felul de obiecte pentru a obține sunete mai dulci, mai plăcute. Cîte feluri de instrumente muzicale nu se fac ! Ce variate sînt ele de-a lungul timpului și la diferite popoare !

Instrumentele populare se transformă și devin de nerecunoscut, capătă forme raționale iar sunetul lor devine mai puternic, mai frumos.

Ne întrebăm : care este obiectul cel mai simplu într-o orchestră simfonică ? Poate bagheta dirijorului iar după ea flautul. Orice material e bun pentru flaut : și lemnul și argila, și fildeșul și metalul (un aliaj de cupru cu mangan sau de cositor cu zinc), ba chiar argintul și aurul.

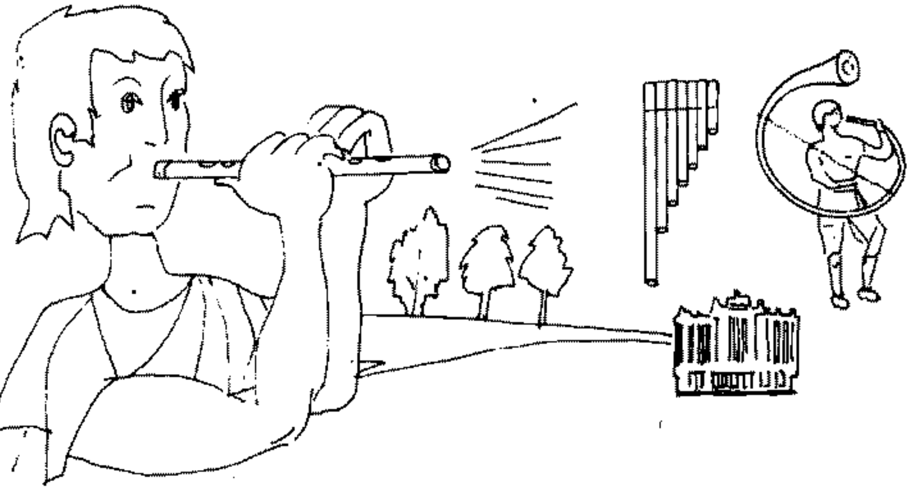
Bănuim că primul flaut a fost făcut din trestie. Un strămoș al nostru a rupt un bețișor de trestie și a început să sufle în el. A auzit un șuierat. A surîs de noua descoperire. Mai tîrziu a perfecționat „instrumentul" făcîndu-i cîteva găuri pe care le astupa cu degetele-i „virtuoase". A apărut o șuierătoare — sub vechea formă de „trișcă" și a trecut din Orient în Europa sub numele definitiv de *flaut longitudinal*.

S-au mai scurs cîteva... mii de ani și flautul a căpătat alte forme, alte denumiri *zurna* asiatică, *basonul* zgomotos din evul mediu, *oboiul* cu sunetul lui dulce care a ajuns pînă la noi. *Fagotul, clarinetul* au „ancie" care vibrează și produc un sunet clar, puțin nazal și cald. Spilcuitul saxofon a apărut în anul 1845 ca un instrument cu posibilități excepționale și variate, operă a meșterului parizian Adolphe Sax.

Cornul de bour, cu glas puternic și răsunător era nelipsit din fanfarele nobililor în evul mediu. Au urmat *trompetele, tromboanele culisante,* alămurile sclipitoare al căror rost era să trezească în fanfară sentimente de entuziasm, solemnitate, triumf sau tristețe la înmormîntări.

FLAUTUL DEVINE ORGĂ

Poate că vreun păstor-inovator, plictisit să tot cînte mereu oilor dintr-un singur fluier și-a zis : „Să încerc să cînt în același timp din două". A rezultat un fluier cu două țevi și tonuri diferite. Interesantă asociere ! și fără a sta mult pe gînduri, el a tăiat vreo duzină de țevi de trestie de diferite lungimi, le-a așezat după mărime, le-a astupat la unul din capete și le-a lipit împreună. A rezultat un fel de fluier cu mai multe țevi, pe care grecii antici l-au botezat flautul lui Pan (zeul protector al turmelor), adică *naiul.* Funcționarea acestui instrument se bazează pe un fenomen aerodinamic destul de fin : aerul suflat prin muștuc nu pătrunde în fluer ci trece pe lîngă el și se răspîndește în at-



mosferă, producînd o depresiune rezonantă. De aceea se spune că fluierele aspiră aer de sus în jos, producînd o „sucțiune". Simplu dar... nebănuit și poate neștiut de mulți.

Cum era foarte obositor să sufle în țevi, din ce în ce mai groase și mai lungi, fără a-și strica plămînii, muzicanții au apelat la constructorii de instrumente muzicale care au înlocuit plămînii cu niște foale asemănătoare celor care ațîță focul în vatra fierarilor. Astfel apare acum 4—5 milenii, primul instrument mecanic de cîntat — *orga* — sub forma ei cea mai simplă.

În vechiul Egipt orga acompania dansurile, iar în Bizanț se cînta la orgă în circuri, iar în Europa a început perfecționarea ei. Dintr-un instrument simplu, orga s-a complicat, a devenit mai mare și mai puternică. O orgă modernă de mărimea unei case destul de înalte, are pînă la șapte mii de tuburi rezonante, de lemn sau de metal, cilindrice și prismatice, înguste și largi, înalte sau scurte de tot. Unele tuburi sînt scurte cît un deget, în timp ce altele arată ca un stîlp de telegraf, dînd tonurile cele mai diferite. O adevărată fabrică de sunete ! De la mișcarea foalelor manuale s-a trecut la ventilatoare electrice puternice, care suflă aerul în tuburi printr-o rețea complicată de canale și camere etanșe.

Această enormă mașină este „condusă" cu degetele, de un organist care stă la pupitru, pe o banchetă lungă și apasă pe tastele albe și negre, ca la pian, la mai multe claviaturi zise „manuale", situate una deasupra alteia. Dar organistul folosește și... picioarele, pe claviatura aflată în partea de jos, numită „pedală", apăsînd tastele mari cu tocul și vîrful ghetei de la ambele picioare.

EVOLUȚIA COARDELOR SONORE

Multe instrumente muzicale au fost construite, probabil, datorită unor întîmplări. Astfel, lovind cu bățul un copac scorburos, au auzit un sunet mai puternic decît cel obișnuit prin lovirea unui copac sănătos, descoperind fenomenul de rezonanță a corpurilor goale pe dinăuntru și odată cu ele primele instrumente de percuție ; *toba, tam-tamul, zbîrniitoarea, sunătoarea* (un fruct uscat, scobit și umplut cu sîmburi sau pietricele) ; chiar și *buhaiul* rage datorită vibrației longitudinale a unei coarde confecționate din fire de păr din coadă de cal.

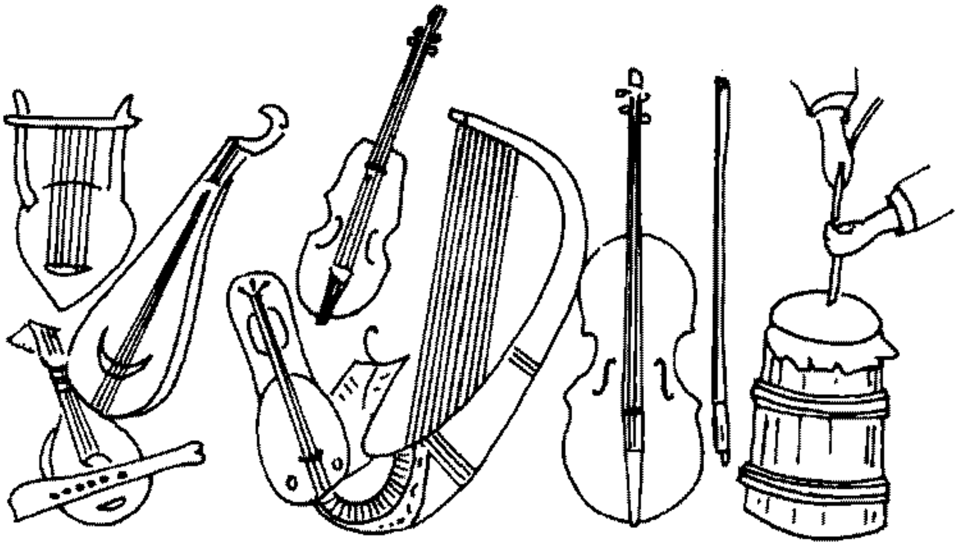
Făcîndu-și un arc pentru vînatul animalelor și întinzînd coarda, prin încercarea cu degetul, aceasta vibra și producea un sunet muzical. Așa a devenit, poate, *arcul* instrument muzical monocord.

După multe veacuri, mai adăugînd cîteva coarde a rezultat maiestoasa *harpă,* acel instrument muzical frumos, cu multe strune, poleit cu aur.

Instrumentele cu coarde, erau cu totul ceva nou și au influențat dezvoltarea artei muzicale de mai tîrziu. În timp ce sunetele instrumentelor de

suflat seamănă într-adevăr cu cele ale vocii, sunetele instrumentelor cu coarde (în special cele produse prin ciupire), au un caracter cu totul deosebit, ceea ce le-a permis să acompanieze vocea, ca fond muzical. La *harpă*, *liră*, *kitara* grecească sau *kundi* sudanez, coardele pot fi atinse simultan, sunînd armonios, mai plăcut. Aceste combinaţii de sunete au căpătat numele de *acorduri* (de la cuvîntul grec corda = strună), iar armonia (de origine greacă = concordanţă) este îmbinarea plăcută a sunetelor.

Dar oamenii au căutat mereu să le perfecţioneze şi să născocească altele noi. Cu cît există mai multe instrumente, cu atît mai mare este varietatea, bogăţia de nuanţe şi sonorităţi în muzică. De aceea se alcătuiesc ansambluri, se formează orchestre.



Desigur că se pot spune multe lucruri interesante despre instrumente, privind istoria, construcţia şi perfecţionarea lor. De pildă, cînd vînătorul a băgat un capăt al arcului într-o tigvă de dovleac, golită de conţinut şi a tras de coardă a observat că sunetul devine mai puternic, iar cîntecul mai frumos. A urmat ca la această *cutie de rezonanţă* improvizată, să fie aplicate, două sau mai multe coarde ; sunetele deşi erau imperfecte, neputînd face acordul lor, muzicanţii erau totuşi mulţumiţi de ele.

Vechea liră sau harpă a acumulat în decursul a cinci milenii de existenţă, multe alte noutăţi, suferind mereu transformări, pentru ca numai în secolul trecut să capete forma actuală.

Cutiile de *rezonanţă* se puteau face şi din alte materiale decît tigva de dovleac : scoici, oale de pămînt, metale, băşici de porc umflate, coajă de mesteacăn, pentru a ţine *isonul* strunelor.

Probabil că s-au făcut mii de încercări şi practica a dovedit că cel mai bun material este lemnul. Pînă azi, din lemn se fac cele mai uşoare, mai sonore şi mai fine cutii de rezonanţă, pentru instrumentele cu coarde.

În ce priveşte strunele, după încercarea cojii de copac, a firelor de bum-

bac, venelor de bou, mațelor uscate de maimuță (utilizate și azi la violoncel) au fost adoptate metale, aliaje, de diferite calități, grosimi și rezistențe.

La început, gîtul instrumentelor cu coarde era încovoiat, ca lemnul arcului de vînătoare, ajungînd pînă la urmă la forma dreaptă, ca fiind cea mai logică și practică, deoarece permite să se obțină o mulțime de tonuri prin apăsare cu degetele pe strune.

Nu ne este cunoscut unde a fost adoptată la început forma dreaptă a gîtului, se presupune că în vechea Mesopotamie.

Fiecare instrument în parte își are legenda, istoria sa și oamenii care s-au trudit să le construiască, dar aici nu vom aminti decît grupele instrumentelor de bază ale unei orchestre simfonice : *vioara*, *viola*, *violoncelul*, *contrabasul*, care seamănă între ele ca formă, diferind numai dimensiunile și modul de a cînta la ele. Acestea se mai numesc *instrumente de coarde cu arcuș*.

Viorii, ca unuia dintre cele mai expresive instrumente, i se încredințează adesea partea de solo, în compoziția pentru orchestre, ca unei „prințese a muzicii", cum mai este numită. Ea are ca strămoși *lăuta* care străbătînd bazarele babiloniene în Orient, Persia, India și China, a ajuns în Egipt iar de acolo peste douăzeci și două de veacuri, în timpul năvălirii maurilor, a trecut Mediterana în Europa.

Glasul lăutei a răsunat la serbările populare cît și în palatele Spaniei, Franței și restul țărilor.

Proprii săi copii, *chitara* și *mandolina*, au început să-i facă concurență lăutei fiind mai accesibile oricui.

Au trecut iarăși cîteva veacuri și dintr-o pictură se observă că de la vechile instrumente de coarde — *revanastre* indiene, *huține* chinezești, *rebabe* arăbești, care se țineau vertical pe genunchi, lăuta, viola și vioara se rezemau de gîtul artistului iar arcușul din încovoiat, ca un arc de vînătoare, devine drept și încovoiat chiar în sens contrar, spre păr pe care-l ține mereu întins.

Iată cum cu părul de la o... coadă de cal trecut peste niște vene de oaie, au început să se desfete strămoșii noștri cu vioara cu patru coarde, minunea cu glas de aur. Invenția acestui instrument cît și străduințele multor maeștri, care i-au dat o mai mare sonoritate și frumusețe armonică, are o poveste pasionantă. Sînt cunoscute în întreaga lume celebrele viori ale lui Antonio Stradivarius care o viață întreagă, pînă la 94 de ani, s-a gîndit și a experimentat dimensiunile, forma, calitatea lemnului și a lacului cu care impregna lemnul viorilor sale. Se cunosc peste 1 150 de viori Stradivarius.

Astăzi există laboratoare speciale, în care savanții cercetează proprietățile instrumentelor muzicale, făcînd măsurători științifice, dar pe la 1700, constructorii dețineau fiecare „secretul lui" pe baza experienței acustice. Nu degeaba vecinii lui Stradivarius așterneau fîn peste caldarîmul din preajma casei lui, deoarece el nu lucra numai cu mîinile și cu ochii, ci mai cu seamă cu auzul și mintea. Auzul, în special îl conducea la concluzii sigure asupra glasului unei viori. La fel lucra și alt mare lutier — Guarnieri.

În armonioasa familie a unei orchestre intră și un alt instrument cu coarde supranumit pe drept regele instrumentelor — *pianul*. El nu a fost de la început recunoscut ca atare, ci întocmai ca toți confrații lui în alte muzicii, a trecut printr-o lungă perioadă de transformări prezentîndu-se la început ca un modest *monocord grecesc*, cu o singură coardă așezată pe o cutie lungă. Nici nu semăna cu ceea ce numim azi pian. A devenit apoi țambalul vechi, *guzla rusească* cu mai multe coarde, ce erau fie ciupite, fie lovite cu niște bețișoare, fie trase cu cîrlig numit *plectru* sau pană.

Monocordul, azi piesă de muzeu, servea la început ca sonometru, un instrument didactic de fizică. Asociind mai multe monocorduri se putea face cu ele muzică. A urmat un monocord cu „mai multe coarde", așezate pe un prăguș pe care oamenii l-au numit *policord*.

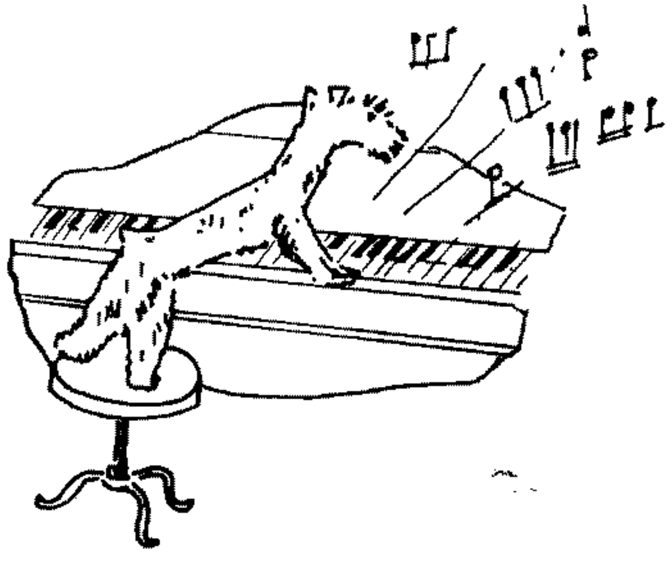
În loc de a lovi cu bețișoarele coardele s-au montat clape, pentru a fi apăsate cu degetele, ceea ce făcea ca niște „tangente" să lovească coardele producînd melodia dorită. Astfel a luat ființă prima *orgă cu coarde*, primul instrument cu coarde și claviatură — *clavicordul*. Era un instrument ce emitea un sunet slăbuț cu un fel de „tremolo" plăcut auzului și îndrăgit de compozitori.

O nouă perfecționare și apare pe lume *clavecinul*, frate cu clavicordul și tot un vlăstar al vechiului țambal.

Sunetele clavecinului rezultă din „agățarea" corzilor cu pene de corb, ce se află fixate la capătul tastelor, apăsate cu degetele. Oricît de tare s-ar apăsa pe clape sunetele rămîn aceleași ca intensitate, în schimb timbrul lor este metalic, ca picăturile de ploaie în soare, proaspete și argintii.

Clavecinul și-a depășit fratele — clavicord, fiind mai „tehnicizat" și pasibil de noi perfecționări.

Locul penelor de corb a fost luat de niște lamele de cupru sau de metal, așa numitele plectre, iar coardele de mat, au fost înlocuite cu coarde de alamă.



Ca formă, clavecinul prefigurează pianul de mai tîrziu, cînd în locul acelui instrument dreptunghiular apare altul cu aspect curbiliniu, ca pianul cu coadă actual.

A urmat o perioadă de aproape un secol de tatonări pînă la apariția pe scena muzicală a regelui instrumentelor — pianul. Știm că numele creatorului viorii moderne — Stradivárius este pe cît de cunoscut pe atît de proverbial, dar pe creatorul pianului gloria l-a ocolit și posteritatea nu i-a cinstit amintirea acestui meșter remarcabil — Bartolomeo Cristofori, care făcea pe la 1700, serviciul de supraveghetor la muzeul instrumentelor muzicale din Florența. El și-a petrecut toată viața printre clavicorduri, spinete și clavecine și cum „experiența face pe meșter" se gîndea cum să modifice acest instrument, să cînte mai frumos și să asculte de dorințele compozitorului mai „piano" sau „forte".

Percuția coardelor rămînea, problema era cum să se facă aceasta mai dulce. Oare cîte nopți de veghe gînditoare va fi trăit don Bartolomeo, pînă ce dorința i s-a materializat într-un instrument cu mecanisme complicate, nezgomotoase ? Nu știm precis cîte variante va fi încercat, pînă a ajuns la concluzia tastelor cu pîrghii de lemn, terminate cu un ciocănel ușor, învelit în piele, apoi în pîslă cu care lovea coardele. A mai adăugat și cîte un amortizor de sunet, din pîslă care face să nu mai vibreze coardele cînd se ridică degetul de pe clapă.

Acest prea puțin cunoscut meșter genial a intitulat instrumentul : *gravicembalo col piano e forte*, adică clavicimbal cu sunet slab și tare, nume păstrat pînă azi — *pianoforte*.

El a devenit instrumentul de lucru al compozitorilor și interpreților începînd din anul 1710, pînă astăzi, fără modificări esențiale, adăugîndu-se doar pedalele. Pianofortele cu ciocănele a fost utilizat de la început de Bach, Mozart, Beethoven și alți mari muzicieni, datorită forței sunetului său cît și a bogăției intonației, aci bubuind ca tunetul pentru ca apoi să execute cel mai gingaș pianissimo. Marii pianiști, în frunte cu Franz Liszt, au ridicat acest instrument independent, care are posibilitățile unei întregi orchestre, la reputația de care se bucură și vioara.

De la voluminoasele piane cu coadă s-a inventat pianina (1880), piane automate, electrificate — avînd la bază aceleași principii constructive. După o sută cincizeci de ani de la nașterea talentatului meșter Cristofori, s-a reparat nedreptatea ignorării lui, ridicîndu-i la Padova un monument comemorativ.

Cu rîndurile de mai sus încheiem scurta noastră călătorie prin istoria instrumentelor muzicale, observînd că dezvoltarea muzicii este strîns legată de progresul tehnicii muzicale. Cerințele muzicienilor impun noi instrumente muzicale, care apar în mintea iscoditoare a omului.

Fiecărui instrument muzical nou care își ia locul în orchestră i se conferă un atribuit monarhic : orga — împărăteasă, harpa — regină, lăuta — ex-regină, vioara — prințesă, pianul — rege.

Oricare ar fi supranumele lor, instrumentele se perfecţionează continuu, mai ales astăzi cînd ştiinţa cunoaşte ce este sunetul, cum se produce şi din ce cauză se modifică.

INSTRUMENTE ELECTROFONICE

În general instrumentele muzicale au atins perfecţiunea în secolele XVIII şi XIX, veacul nostru mulţumindu-se să le aducă doar unele perfecţionări. Asupra instrumentelor tradiţionale, descrise pînă aici, executantul acţionează pe cale mecanică, fie direct (harpă, chitară, flaut etc.), fie indirect (arcuş, clape, ciocănele ca la vioară, pian, ţambal etc.). Trebuia ceva nou. Şi aceasta a fost posibil odată cu dezvoltarea rapidă a electrotehnicii şi fizicii. Se afirmă azi că muzica se serveşte aproape total de electronică, toate aparatele de reproducere a muzicii utilizînd „amplificatoare muzicale". Ele folosesc ca organ sonor final — difuzorul de tip radio sau casca telefonică, acţionate de executant direct sau indirect, prin intermediul unui aparataj electric. Aceste noi instrumente, numite la un loc electrofonice (electromuzicale sau electroacustice) sînt de două feluri :

— electrice, la care sunetele sînt generate de vibratoare obişnuite (coarde, lame metalice etc.), fără cutie de rezonanţă şi apoi amplificate prin circuite electronice ;

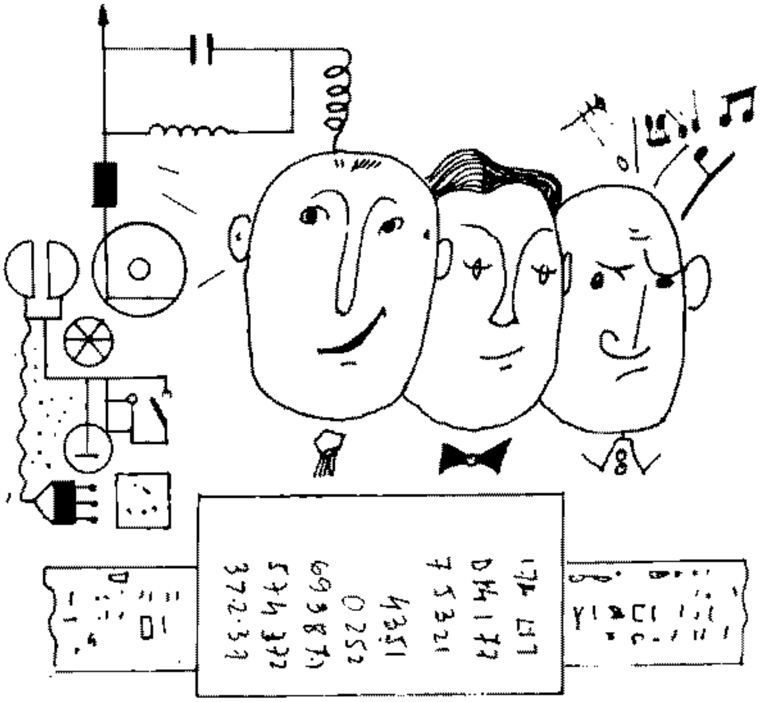
— electronice, la care sunetele sînt produse de circuite oscilante. tuburi sau tranzistoare) sau cu dispozitive mecano-electrice bazate pe efectul fotoelectric (orga fotoelectronică, sintetizatorul).

Astăzi electrificarea omniprezentă a pătruns inevitabil şi în artă. Prima fază a producerii unui sunet muzical pe cale electrică constă în pregătirea oscilaţiilor „mute şi invizibile" ale unui curent electric. După aceea urmează modularea semnalului, amplificarea şi redarea prin difuzor, de unde apar sub formă de vibraţii acustice ale membranei şi aerului, adică unde sonore.

Deşi „bucătăria" electrică de sunete, nu pare prea complicată, ea este în schimb mai rafinată decît cea mecanică tradiţională, posibilităţile „vocii electrice" fiind de o mare varietate.

Însă din secolul trecut au apărut primele idei, proiecte şi încercări. În anul 1906 s-a efectua „sonorizarea" reţelei telefonice, oferind abonaţilor (S.U.A.); muzică produsă cu ajutorul unei orgi electronice inventată de Thadeus Cahill şi denumită *telearmoniu.* Era o instalaţie enormă compusă din 144 de alternatoare (generatoare de curent alternativ) a căror frecvenţă varia odată cu turaţia ; vibraţiile electrice sinusoidale excitau membrana receptorului telefonic de la abonatul respectiv. Puterea pe care o debita această adevărată „centrală electromuzicală", pentru al cărei transport au fost necesare 40 de vagoane de cale ferată, era de 150 kW. Pe acea vreme nu se inventase radioul, încît acest gigant muzical delecta urechile abonaţilor melomani, cu melodii în şoaptă ascultate la receptorul telefonic.

Cu toate că această mașină muzicală era apreciată de specialiștii de atunci, fiind bine concepută, ea nu a fost introdusă în practică, nereușind să convingă pe contemporanii săi. Aceeași soartă au avut și alte încercări făcute ulterior de alți inventatori de asemenea jucării muzicale, bune doar pentru muzee sau cabinete de fizică.



Trebuia să apară mai întîi radioul, primele tuburi electronice și mai recent tranzistoarele pentru a se deschide muzicii electrice și electronice orizonturi mai largi.

S-a menționat mai înainte că *instrumentele muzicale electrice* sînt instrumente muzicale clasice (pian, vioară, chitară, armoniu, armonică, carillon-ul etc.) ale căror vibrații sînt captate electromagnetic, transformate și amplificate electric, apoi redate prin difuzoare, cu o intensitate reglabilă. Aceste instrumente nu au nevoie de cutii de rezonanță, tuburi sonore etc.

În schimb *instrumentele muzicale electronice* prezintă un interes mai mare decît cele electrice, fiind construcții originale, creatoare de sunete specifice,

necunoscute anterior, de o expresivitate bizară uneori, bazată pe producerea de oscilații radioelectrice.

Instrumentele muzicale electrice se aseamănă cu cele electronice numai prin faptul că ambele folosesc un sistem de amplificare a sunetelor cu control de ton și de volum și redarea lor prin difuzor. În cele ce urmează ne vom ocupa mai mult de cele electronice.

Telearmoniului lui Cahill, după cum s-a văzut datorită complexității lui i-au urmat aparatele lui Mager (1912) — electrofon, Lee de Forest (1915) — stereofon, A. Givelet (1918) — partiturofon etc.

De la aceste repede uitate generatoare sonore, ne vom opri la instrumentul prezentat cu mare succes publicului pînă în ziua de azi — eterofonul sau termenvoxul inginerului rus, L. S. Termen, (1920). Detalii asupra construcției «Termenvox-ului» vor fi date în cuprinsul acestei lucrări (cap. VII).

Printre tinerii fizicieni activi și capabili, adunați într-un colectiv de cercetare de către profesorul Joffe, figura și fizicianul L. S. Termen pasionat atît de știință cît și de muzică, fiind și absolvent de conservator, unde studiase violoncelul. La institutul de cercetare, i s-a dat să studieze tema radiosemnalizarea capacitivă și radiomăsurătorile, un fel de radiopaznic original. Termen a realizat în grabă un aparat care semnaliza printr-un șuierat în cască apropierea unui obiect străin. Au urmat alte invenții și studii care i-au îmbogățit cunoștințele și practica. Concomitent însă vechea pasiune pentru muzică îl frămînta. Între știință și muzică nu era vorba de alegere ci mai degrabă cum s-ar putea îmbina fizica cu muzica.

În calitate de specialist în telecomunicații și-a făcut următorul raționament : instrumentul muzical și auzul omenesc sînt mijloace de telecomunicații. Nu s-ar putea oare inventa un instrument electronic care să nu aibă coarde din mațe de maimuță ca violoncelul său ? Radiosemnalizarea capacitivă a fost ideea care l-a condus la realizarea termenvox-ului. A observat că apropiind degetele și palma de armăturile unui condensator montat într-un circuit oscilant, se modifică frecvența sunetului pe care-l ascultă în casă, în tonuri diferite, de la grav la șuierat înalt. Apoi executînd o mișcare de tremollo a degetelor observă că sunetul obținut devine interesant.

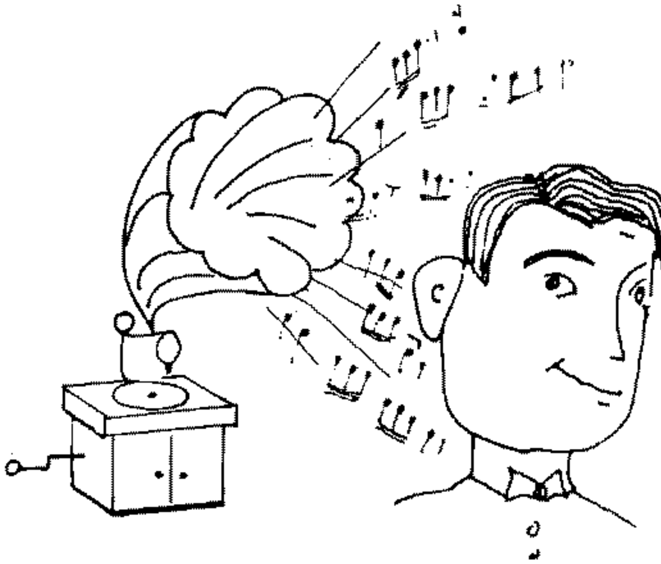
— „Asta-i plînsul electronic al lui Orfeu !" zise profesorul Joffe, care asculta zîmbind în spatele lui Termen. Tînărul fizician părea că devenise eteric. Colegii din institutul unde lucra el spuneau cu nedumerire : „Termen cîntă din Gluck la... voltmetru !"

Între anii 1920–1940 invențiile electromuzicale utilizau oscilațiile radioelectrice, mai bogate în sunete armonice decît vibrațiile mecanice, ceea ce a contribuit la modificarea spectrului sonor și a înălțimii sunetelor. Acest lucru este caracteristic pentru toate instrumentele muzicale electronice. Timbrurile orchestrei simfonice constituită din instrumente clasice s-au cizelat și s-au șlefuit în decurs de secole, putîndu-se reproduce și freamătul pădurii și zgomotul tunetului și cîntecul păsărelelor.

Desigur ca a interveni într-un ansamblu clasic cu sunete electronice ar fi dezagreabil : s-ar strica unitatea de stil. Astfel că în loc de a adapta tonurile instrumentelor electrice la cele clasice se preferă dezvoltarea originalității și noutății sunetelor electronice.

Se prevede ca inovațiile în domeniul sunetelor electrice să fie atrăgătoare și cu perspective de viitor, compatibile cu muzica de orice gen. De fapt, la început instrumentele electrofonice imitau o parte din timbrul instrumentelor tradiționale, cu timpul vor imita perfect și vocea umană.

În prezent se face apel la ambele părți să înceteze orice dispută și concurență. Colaborarea și ajutorul reciproc ar fi mai utile și binevenite.



În caleidoscopul invențiilor muzicale după 1920, figurează multe alte tipuri de construcții, pe care le amintim :

— *pianul electropneumatic* (radioelectric) prezentat în public în 1929, de A. Givelet, are un mecanism de pian automat cu circuite radio ;

— *orga radioelectronică* Givelet-Compleux, realizată în 1930, emite mai multe armonii și poate reda simultan mai multe sunete ;

— *orga electronică* Hamond (americană) dă sunete generate pe cale magneto-electrică ;

— *trautoniul* realizat de Fr. Trautwein schimbă frecvența sunetelor cu ajutorul unui condensator variabil, iar timbrul cu un circuit de ton.

— *ortmartenoul* realizat în 1928 de M. Martenot este considerat ca avînd posibilitățile expresive cele mai variate, oscilațiile fiind produse prin fenomenul de interferență (bătăi între două frecvențe) ;

— *emiritonul* inventat de inginerul Ivanov, format de pianină mică cu două rînduri de clape, redă 50 de feluri de modulații ale sunetului, cuprinzînd toată gama instrumentelor, de la flaut pînă la marele contrabas ;

— *ecvodina*, distinsă cu Marele Premiu la Expoziția Internațională de la

Bruxelles din 1958, a fost inventată de constructorul rus Volodin ; compusă din 65 de tranzistoare, ea poate înlocui oricare instrument dintr-o orchestră ;

— *orga fotoelectrică* Spielmann este tot cu claviatură și discuri perforate prin care pătrunde lumina ce acționează o fotocelulă ;

— *sonarul,* instrument „pur electric" cîntînd „pe un singur glas", era tipic pe la 1935, deoarece consta dintr-un gît orizontal pe care trebuia să se apese cu degetele banda unui reostat, ceea ce modifica timbrul sunetului asemănător unei viori ;

— *super-pianul electronic,* imaginat prin 1970 de reputata pianistă franceză Monique de la Bruchollerie, cu colaborarea unor acusticieni și electroniști, se aseamănă cu un pian cu coadă, cu claviatura curbă și cu bare lungi în loc de pedale, cuprinzînd 9 octave, ca orga mare, și oferind o atmosferă „astrală" a muzicii contemporane ;

— *cristadina,* ușoară, robustă, miniaturală este o nouă creație de orgă electronică ce consumă doar... 3 wați, producînd acorduri dulci, fine și delicate pe baza dispozitivelor semiconductoare.

Prin cercetări neîncetate, paleta sunetelor electronice se îmbogățește rapid. Muzica de estradă și în teatru folosesc din plin, ca și compozitorii mai tineri aceste instrumente în cele mai neașteptate variante. Dorința de nou și strălucire, dă impuls progresului în acest domeniu.

În laboratoare au luat ființă armoniul electronic și pianina cu diapazon, clopotul electronic care înlocuiește perfect gongul voluminos de metal, folosit în teatru precum și „zgomotofonul" care emite zgomotul alb, cunoscut de mult în radiotehnică. De asemenea o serie de instrumente ce imită cîntecul păsărelelor și alte sunete din natură apar ca o avalanșă de noutăți.

A sosit vremea cînd o vioară electrică oarecare să consume energia unei mici baterii cît un nasture sau chiar lumina naturală a zilei. Ce concluzie se poate trage de aici ?

„ELECTRIFICAREA" MUZICII

Vioara, de pildă, cîntă cu un glas minunat, dar nu prea puternic pentru sălile mari sau în aer liber, pe cînd electrovioara poate răsuna oricît de puternic. Apoi vioara electrică nu posedă un singur timbru, cum este sora ei clasică ci poate să sune ca un flaut, fagot sau clarinet.

La vioară nu poți cînta decît perfect, altfel, mediocru este insuportabil, pe cînd la multe instrumente electrice se învață ușor și se pot obține sunete plăcute incomparabil mai simplu decît la cele clasice.

Se observă dintr-o scurtă comparație, că a pronunța un verdict pro sau contra uneia din părți devine dificil și atunci rămîne ca timbrul sunetelor muzicale electronice să imite perfect pe cele ale instrumentelor clasice. Atunci ambele părți vor fi mulțumite.

Cum se poate ajunge la rezultatul dorit ? Există două posibilități ;

— modelarea timbrului prin impulsuri, nu de formă sinusoidală, ci impulsuri de o formă mai complexă, conform teoremei lui Fourier : nu simple unde sonore ci ceva care seamănă cu un „lanț de munți“ cu „creste zimțuite“ ;

— generarea separată de oscilații electrice de diferite frecvențe și apoi suprapunerea lor, a căror însumare și diferență va da o oscilație unică, de o formă mai complicată.

Ambele metode au dificultățile lor, în special la instrumentele polifonice deoarece se complică montajul radiotehnic, fiind necesar un număr prea mare de oscilatoare. Prin introducerea tranzistoarelor și a microundelor se va rezolva și această problemă a „unității de stil“ a celor două palete de culori sonore, clasică și electronică.

Amintim în treacăt că mai există și o serie de alte probleme ce trebuie depășite : atacul sau începutul unui sunet, dezvoltarea și finalul sunetelor. Aici se intenționează ca la un instrument electric sunetul să poată fi amplificat prin apăsarea cu degetul pe o clapă. Apoi, mai este eliminarea zgomotului natural, necontrolabil, care însoțește sunetul instrumentelor obișnuite : lovirea clapelor cu degetele, hîrșîitul arcușului pe coarde, apăsarea pedalelor la pian. De aici rezultă o nouă complicație a schemei și alte multe piese în plus.

În paralel cu instrumentele muzicale pur electrice, au mai apărut și instrumente electromecanice, electrooptice și electrovibratoare, cu roți dințate rotitoare, lamele vibratoare sau discuri perforate prin care străbăteau fascicule de lumină spre celule fotoelectrice. Toate acestea au modificat timbrul clasic al sunetelor convenționale cu care ne-am obișnuit, grație patefonului, magnetofonului și radioului.

În ultima vreme au pătruns în domeniul muzical și calculatoarele electronice cu scopul, fie de a elimina unele instrumente muzicale, fie chiar de a compune muzică.

S-a încercat ca operația de compoziție să fie automatizată, melodia de bază (cantus firmmus), putînd fi obținută prin procedee electronice pe baza unor numere întîmplătoare.

Cu toate aceste experiențe interesante, calculatoarele nu vor înlocui niciodată geniul creator al omului, atîta timp cît în artă predomină sentimentul și gîndirea omenească, față de care mașina rămîne insensibilă.

Cititorul care dorește să construiască unele instrumente muzicale electronice, cu mijloace modeste, nu poate aspira la montaje complicate, totuși prin cele expuse aici dorim să se documenteze cît de cît asupra a ceea ce există realizat și ce va fi mai departe în acest domeniu.

De pildă, printre construcțiile muzicale destinate creării de sunete artificiale, cît și realizării de compoziții de muzică artificială, cibernetică, menționăm și *sintetizatorul muzical ANS*, fotoelectronic inventat în 1957 de Evgheni A. Murjin. Acest robot, extrem de complex, perfecționat între timp,

se compune din discuri opace rotative prevăzute cu perforații, ca la discul de televiziune Nipcov, care permite razelor de lumină să impresioneze o serie de celule fotoelectrice sau dispozitive optoelectronice, mai nou.

Sintetizatorul produce pînă la 16 armonii pentru fiecare ton fundamental. Aparatul lui Murjin poate realiza acord și timbru și, deci, poate înlocui orice alt instrument.

Pentru realizarea compozițiilor muzicale se alcătuiește programul prin desene gravate pe o sticlă acoperită cu o vopsea opacă după care se introduce într-un dispozitiv de decodificare.

Compozitorul își poate asculta imediat muzica, compusă cu ajutorul unui cuțit cu care trasează semnele muzicale pe sticlă. Astfel sintetizatorul contopește prin cele trei operații munca de compoziție, înregistrare și redare.

Alte tipuri de *sintetizatoare electronice*, se bazează pe circuite oscilante complicate, cu claviatură și amplificatoare, prin care se produc sunetele programate. La început instrumentul, de mărime mică sau mai mare, sună ca o orgă electronică, apoi sunetele devin eterice cu frecvențe audio înalte, joase, glisando-uri care îi poartă pe ascultători prin cosmosul necunoscut.

Despre „electrificarea" muzicii, cum afirmă unii specialiști, interesantă prin noutatea și ingeniozitatea ei, nu sînt prea multe de spus din punct de vedere artistic. Cînd sunetele sînt trecute prin traductor (microfon), amplificator sau difuzor, nu mai rămîne acea atmosferă pură, caracteristică execuției de pildă, la chitara sau violina electrică.

Între acustică, electronică și optică există o legătură invizibilă care s-a materializat în forma de spectacol audio-vizual sau video-son (în cazul cinematografiei).

Între sunet și lumină sau muzică și culoare, se află un raport de care s-au ocupat mulți muzicieni și savanți.

Fiecare culoare din spectrul solar, descoperit de Newton și clasificat după modelul gamei muzicale în șapte tonuri, are un efect fiziologic diferit cînd cade pe retina ochiului.

Știința cunoaște de multă vreme că există culori „reci" (verde deschis, albastru, violet) și culori „calde" (roșu, portocaliu, galben, bej).

Goethe afirma despre efectele psihologice ale culorilor, că „acționează asupra spiritului și poate exercita senzații, deștepta emoții, idei care ne odihnesc sau ne ajută și pot provoca tristețea sau veselia". Cromoterapia se utiliza încă din evul mediu la tratarea anumitor maladii iar astăzi știința culorilor formează preocuparea ergonometriei în industrie și arhitectură.

Și acum, o mică experiență: ascultați bătăile unei pendule sau a unui metronom într-o cameră cufundată în întuneric. Puneți apoi pe cineva să aprindă brusc o lumină puternică și veți constata că bătăile pendulei se aud mai puternic.

Care este legătura ? Un tînăr inginer, Leontiev, a avut ideea de a organiza cîteva audiții muzicale însoțite de jocuri de lumini colorate : notelor joase le

corespunde roșul și pe măsură ce gama muzicală suia culorile se schimbau către albastru-violet. Astfel de concerte cromatice au fost ascultate și văzute de oricare din noi la teatru, operă, TV. Ele creează stări emoționale intense. Culorile — cum arată știința — au un caracter obiectiv, iar sunetele — muzica — au un caracter subiectiv, acționînd asupra simțurilor, provocînd o anumită stare sufletească.

Aparatul nostru auditiv analizează sunetele, ținînd cont de timbrul, ritmul și intensitatea lor, văzul însă este mai aproape de perfecțiune și comparativ de o sută de ori mai sensibil ca alte simțuri. Prin văz percepm 85% din informații.

Asociația dintre muzică și culoare, cu ajutorul unui calculator cibernetic, a obținut realizări surprinzătoare. Sunetele instrumentelor muzicale, captate de microfon, sînt transformate în impulsuri electrice, care introduse într-un «creier electronic» sînt analizate și dirijate spre un aparat electrono-optic producător de raze luminoase în culori și nuanțe diferite.

Spectacole de sunete se dau peste tot în lume și la noi în țară, în aer liber, în fața monumentelor istorice, pe ape etc.

Un complex de instalații electroacustice de mare putere asigură succesul desăvîrșit al acestui nou gen de spectacole. Megafoane stereofonice, sute de reflectoare măresc grandoarea senzațiilor.

Iată un exemplu de muzică și culoare !

Pe „scena" lungă de 2 km și lată de 1 km, avînd drept decor piramidele lui Keops, Kefren și Mikerinos, apare sfinxul din întuneric, învăluit în lumina aurie a unui răsărit de soare și în acordurile „Aidei" de Verdi. Deodată glasul celui ce a tăcut milenii răsună în deșertul înconjurător : „În fiecare zi văd cum răsare soarele pe îndepărtatul mal al Nilului. Primele lui raze îmi luminează fața întoarsă spre el. Tatăl istoriei, Herodot, m-a numit sfinx..." Pe neobservate marele zeu apare luminat în toată splendoarea lui.

Treptat o lumină argintie se proiectează peste piramida lui Keops și povestitorul deapănă firul istoriei glorioase a Egiptului. Spectatorii devin, timp de 45 de minute, martorii evenimentelor petrecute pe vremea faraonilor, a lui Cezar și Cleopatra, Alexandru cel Mare, Napoleon, vizionînd 70 de tablouri, a circa 40 secunde fiecare. Culorile se suprapun fără să se asemene una cu alta și schimbarea decorurilor este impresionantă. Se naște astfel iluzia perfectă a realității.

Instrumentele muzicale electronice creează sunete noi, cu armonici bogate, în special cele fotoelectronice, orgile electronice și ortmarten-oul.

Concluzia la care s-a ajuns privitor la viitorul instrumentelor electrofonice, este, că datorită originalității lor absolute, cu sonorități expresive noi, inconfundabile, acestea se vor multiplica și diversifica (magnetofon cu mai multe piste, vocoderul, sintetizatorul etc.), fără a mai urmări să imite instrumentele clasice și timbrul acestora, deoarece va fi imposibil. Cu toate acestea, adoptînd o cale de mijloc, printr-o colaborare reciprocă, ambele tipuri de instrumente muzicale — clasice și electronice — pot satisface gustul public.

Sunetelor muzicale umanizate, directe, oferite de instrumentele clasice li se pot adăuga și calitățile instrumentelor electrofonice (timbru variabil, mărirea puterii de emisie, extinderea scării muzicale, transmiterea la distanță, nuanțe diferite), completînd cu succes paleta sonoră a unei piese muzicale.

Capitolul II

Sunet, zgomot, muzică

OSCILAȚII ȘI UNDE

Înainte de a face o călătorie în lumea minunată a muzicii, propunem cititorilor ghicitoarea : ce este mai moale în natură .

Să fie oare puful, lîna, iarba ? Nu ! Practica a dovedit că aerul. Dovada, saltelele pneumatice și mingea de joc.

Și acum gîndiți-vă, ce este mai elastic pe lume ? Nici arcurile, nici guma de șters, nici cauciucul, ci tot aerul. Deci, deși moale este și nemaipomenit de elastic, contrar părerilor mai vechi.

Elasticitatea corpurilor „moi" a stîrnit uimire și controverse, pînă s-a aflat cauza : mișcarea dezordonată a moleculelor gazoase, care dă naștere la o presiune ce se opune cu îndărătnicie comprimării. Prin bătaia din palme, de pildă, aerul este brusc comprimat apoi, datorită elasticității sale se destinde și presează asupra porțiunilor învecinate ale atmosferei, în sfere concentrice, pînă ce ajunge la urechea noastră, lovind timpanul căruia îi provoacă o senzație acustică.

Cu alte cuvinte, sunetul constă din unde elastice care se propagă prin aer (fig. 1, *a*). La fel se petrece și cu un clopot : fiind lovit, el vibrează (oscilează) și vibrațiile presînd aerul, ating și impresionează urechea. Un alt exemplu comparativ, destul de cunoscut, este acela al pietrei aruncate într-o apă liniștită. Pe suprafața apei apar o serie de cercuri care înconjoară punctul în care a căzut piatra, ca niște valuri.

Undele sonore sînt, deci, rezultatul mișcării particulelor de aer (moleculelor), care se deplasează în jurul unei surse sonore (clopot, lamă elastică, diapazon, instrument muzical). Propagarea sunetelor se face cu o viteză ce depinde de mediul în care ele se deplasează. În vid sunetul nu se aude, de exemplu pe Lună unde nu există aer. Viteza sunetului în aer este de 344 m/s, în apă și în metale viteza crește, ajungînd la 1 000—4 500 m/s, datorită moleculelor

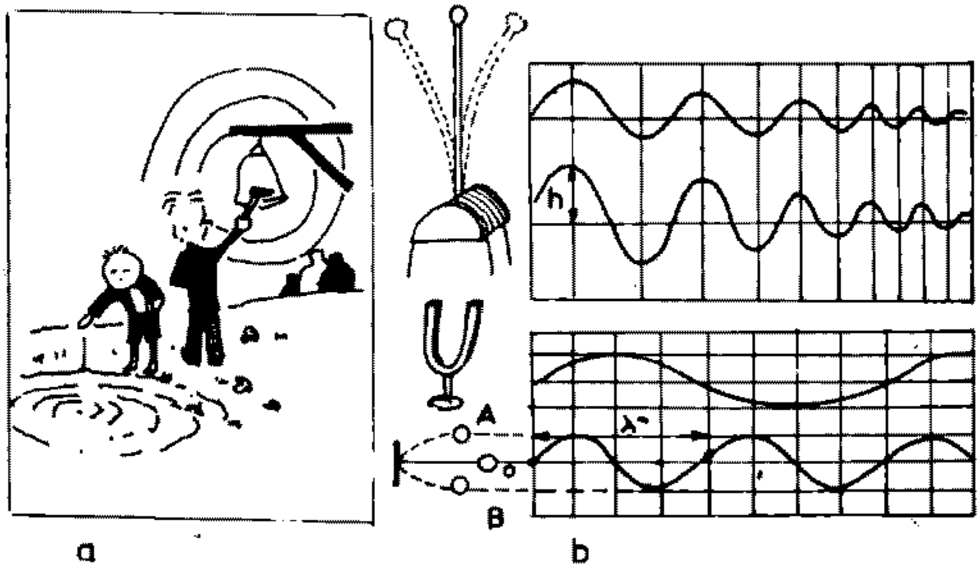


Fig. 1. Vibrații și unde : *a* — unde sonore și lichide ; unde amortizate și întreținute ; amplitudinea *(h)* și lungimea de undă (λ).

care sînt mai apropiate una de cealaltă. Astfel pe vreme umedă sunetul se aude mai bine, deoarece atmosfera conține vapori de apă, în care viteza sunetului este de 401 m/s.

Se menționează că la propagarea sunetului moleculele nu se deplasează, ci doar transmit mișcarea, întocmai cum ar împinge o locomotivă primul vagon de lîngă ea iar acesta ciocnește pe următorul și așa mai departe, pînă la ultimul vagon. Unda transportă numai energia nu și materia, iar în cazul apei, aceasta nu se deplasează în sensul propagării. Înălțimea unei creste a valului de apă se numește „amplitudinea mișcării ondulatorii" (fig. 1, *b*) iar distanța orizontală care separă cele două creste a două valuri consecutive se numește lungime de undă și se notează cu litera grecească λ (lambda).

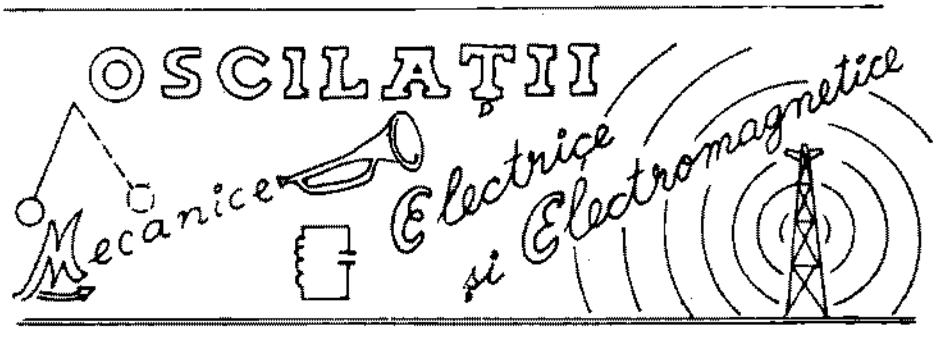


Fig. 2. Lumea oscilațiilor este mare : oscilații mecanice, electrice, electromagnetice, luminoase, termice, acustice etc.

Revenind la oscilațiile mecanice, care ocupă un spectru îngust de frecvențe (16—16 000 Hz) audibile, față de celelalte tipuri de vibrații (fig. 2)

sînt de reamintit cîteva considerații. Lungimea acestor unde sonore în aer este cuprinsă între 20 m și 2 cm. Dar limitele de perceptibilitate variază de la om la om.

Urechea umană nu percepe sub formă de sunete toate undele care se propagă prin aer. O coardă care face 30 de oscilații pe secundă produce în aer unde de o lungime de circa 11 m. Aceasta este aproximativ limita inferioară a oscilațiilor aerului, pe care le percepem în raport cu 16 000 Hz, care este limita maximă percepută corespunzător lungimii, (λ), de cca. 21 mm ; însă pentru majoritatea oamenilor limita audibilității sunetelor este de 10—12 000 Hz.

Cu ajutorul figurii 3, se pot stabili, în concluzie, unele caracteristici ale oscilațiilor simple :

— *e* este elongația maximă, adică distanța în momentul *t*, a particulei care vibrează față de poziția sa de echilibru 0. Elongația se măsoară în centimetri, iar elongația maximă se mai numește amplitudine.

— *T* este perioada, adică timpul în care se produce o oscilație completă și în care pendulul (metronomul sau o coardă) parcurge toate pozițiile posibile pentru a reveni în poziția inițială, de unde se reia oscilația ;

— ν (niu) sau *f* este frecvența adică numărul de perioade efectuate într-o secundă. Frecvența se măsoară în hertzi (Hz).

În traducerea grafică a acestor termeni să urmărim figura 3. Prin definiție o singură oscilație are durata *T* în care parcurge distanța λ și rezultă că $\lambda = v \times T = v/f$, știind că *v* reprezintă viteza sunetului în aer (340 m/s). Iată cîteva exemple :

— sunetul „*la*“ (440 Hz) al diapazonului are $\lambda = v_m/f = 340/440 = 0{,}772$ m lungime de undă.

— În timp ce unda celui mai grav sunet, al contrafagotului (fără armonice) efectuează o perioadă pe secundă, cea corespunzătoare a flautului efectuează 9 perioade pe secundă.

În aceeași figură sînt reprezentate comparativ, 3 oscilograme sinusoidale a trei frecvențe diferite, efectuate timp de o secundă și se observă că numărul de perioade (*f*) crește de la punctul *a* spre *c*, iar lungimea de undă descrește.

În natură se întîlnesc tot felul de unde ca formă de propagare a oscilațiilor și vibrațiilor.

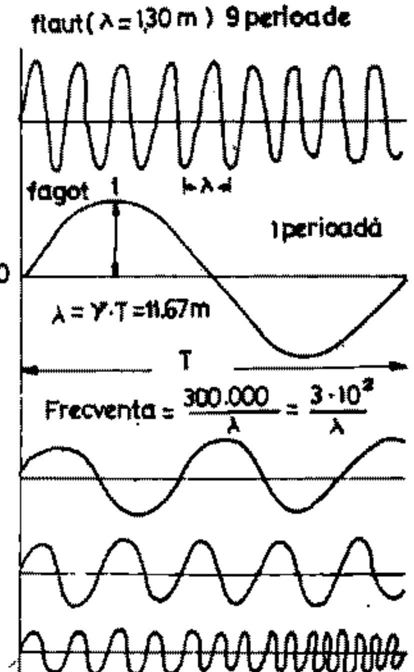


Fig. 3. Frecvența *f* (Hz) a sunetelor reprezintă numărul de perioade *T* pe secundă.

Precizăm în continuare înțelesul unor expresii des întîlnite în *acustica muzicală*. Într-un cuvînt, *sunetul* constă din unde elastice produse de mișcarea oscilatorie a moleculelor din aer. Deosebim sunete *simple*, care cuprind o singură formă de vibrație (frecvență) produsă de o mișcare oscilatorie sinusoidală. Diapazonul, ocarina, un tub sonor sau anumite generatoare de ton produc sunete pure. Dar majoritatea instrumentelor muzicale emit sunete complexe, ca rezultat al suprapunerii mai multor sunete simple, de frecvențe diferite. Astfel peste frecvența *fundamentală* (sunetul pur) se suprapun așa numitele sunete *armonice* numite și sunete concomitente (parțiale).

De pildă peste nota fundamentală „*do*" (armonica 1 cu frecvența de 66 Hz) se suprapun : armonica 2 — „*do*" (132 Hz), armonica 3 — „*sol*" (198 Hz), armonica 4 — „*do*" (264 Hz), armonica 5 — „*mi*" (330 Hz), armonica 6 — „*sol*" (396 Hz). Sunetul rezultat mixarea (bătaia) frecvențelor conform seriei Fourier, va fi „armonios". În greaca veche „harmonia" înseamnă „echilibru, aranjament, înțelegere", de unde s-a ajuns, prin extensiune semantică la „sunete melodice".

Precizăm că numai supratonurile care au un număr multiplu întreg de frecvențe pot fi armonice adică $f_1 + 2f_1 + 3f_1 + 4f_1 + \ldots + nf_1$, altfel sînt nearmonice, dacă nu reprezintă un număr întreg.

Vocea umană este formată la fel, dintr-un sunet fundamental și un șir bogat de armonici care dau *timbrul*.

Propagarea undelor se face în straturile vecine sursei sonore, din aproape în aproape, cu o anumită viteză, funcție de modul prin care se transmite pînă cînd ajung la ureche și acționează timpanul. Astfel iau naștere undele *longitudinale*. În timpul propagării undelor au loc diferite fenomene : *atenuarea* (pierderea pe drum) a o parte din energia purtată ; *absorbția* acustică ca urmare a trecerii prin mediul ambiant.

Deosebim de asemenea *undă incidentă* — undă reflectată (ecoul). Undele sonore suferă și ele fenomenul de refracție acustică (schimbarea direcției de propagare).

Difracția acustică (ocolirea unui obstacol) prezintă importanță pentru muzică, mai ales în cazul undelor lungi ; de pildă, de la o orchestră care cîntă în spatele unei clădiri se aud mai bine sunetele contrabasului decît ale violinei, deoarece sunetele primului au o lungime de undă care poate ajunge pînă la 11,67 m (f = 30 Hz). *Refracția acustică* are loc atunci cînd o undă trece dintr-un mediu în altul cu viteză de propagare diferită, schimbîndu-i direcția de propagare și λ.

Interferență sau fenomenul interesant al „bătăilor acustice", similare celor din radiotehnică, se produce prin amestecul (mixarea) a două frecvențe $f_1 > f_2$ apropiate și de amplitudine constantă rezultînd $f_3 = f_1 - f_2$. Compunerea grafică este identică cu compunerea undei incidente cu aceea a oscilatorului local, dintr-un radioreceptor, pentru a obține frecvența medie.

La interferență apare și suma și diferența frecvențelor, confirmînd teoria dualității consonanță-disonanță, cu aplicații muzicale. De pildă, la acordarea pianului, două coarde care au aceeași frecvență, vibrează la unison și nu produc bătăi, în schimb dacă există o diferență de număr de vibrații (ex. 3 Hz) se produce așa zise „valuri" sonore. Cu cît sînt mai dezacordate cu atît se aud bătăi mai dese. La orgă și armoniu bătăile acustice sînt distincte.

De exemplu din amestecul frecvențelor de 80 Hz și 70 Hz rezultă $f_3 = 80 - 70 = 10$ Hz. La o vioară două coarde care vibrează la unison nu produc bătăi deoarece au aceeași frecvență, aceeași lungime de undă. La o mică diferență, de cîțiva herți, se produc bătăi sub formă de valuri sonore. Este o caracteristică interesantă de care se ține seama la acordarea pianelor și a altor instrumente.

Oscilațiile unei coarde care produce un sunet (de exemplu ale chitarei) se pot vedea ușor, cu ochiul liber, în pozițiile ei extreme, în apropierea cărora viteza ei este mică (fig. 4, *a*). Capetele coardei sînt imobile și se numesc *noduri*, iar la mijloc unde amplitudinea oscilațiilor este maximă, se numesc *ventre* (umflături). Pe o coardă este posibilă formarea mai multor ventre și noduri (fig. 4, *b*).

În cazul unei sfori avînd unul din capete fix, iar celălalt fiind mișcat continuu cu mîna, se vor forma unde care pleacă de la capătul drept (incidente) și se reflectă (reflectate). Prin sfoară se vor deplasa în permanență unde în sensuri opuse (fig. 4, *c*). Interferența acestor unde (care se întîlnesc), duce la formarea de noduri în care oscilațiile lipsesc (amplitudinea = 0) iar în intervalele dintre noduri apar oscilații puternice (ventre). Toate aceste unde la un loc, poartă denumirea de *unde staționare*. Ele generează armonicele 1, 2, 3, 4 etc. Se observă cu ușurință că distanța dintre noduri este egală cu jumătate din lungimea unei unde. Același fenomen se observă și cu o coardă vibrantă.

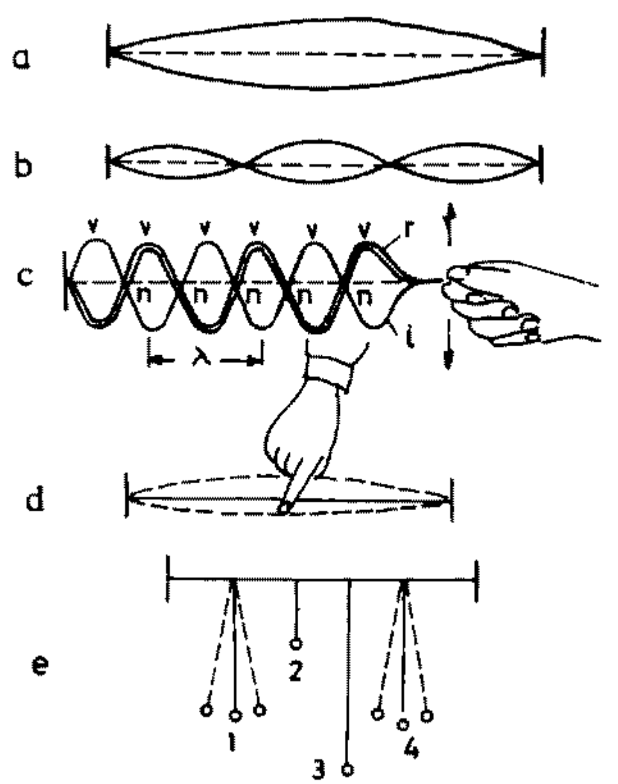


Fig. 4. Proprietățile oscilațiilor și undelor : *a* — oscilațiile coardelor ; *b* — noduri și umflături : *c* — unde staționare ; *d* — armonicele unei coarde : *e* — rezonanța acustică.

Numărul oscilațiilor (frecvența) determină și numărul nodurilor și umflăturile vizibile la coardele cu sunet grav (contrabas). Principiul interferenței

formulat de Young este foarte simplu : fiecare coardă cîntă în... cor. Depinde unde se ciupește sau se excită coarda, la capete sau la mijlocul ei. Aici se ascunde secretul cîntecului la vioară și chitară.

Rezonanța este un fenomen general întîlnit în diferite domenii (mecanică, electricitate, acustică).

În domeniul sunetelor *radiatorul* (emițătorul) este corpul aflat în vibrație care se mai numește și sursă sonoră. Spațiul elastic prin care se propagă sunetul se numește cîmp acustic iar *receptorul* de sunete devine *rezonator acustic.* Rezonanța ca fenomen general, o întîlnim deseori în natură sub diverse aspecte. Să facem o simplă experiență. Pe un fir puțin întins sînt suspendate mai multe pendule, de diferite lungimi. Pendulele de la extremități, *1* și *4*, care au aceeași lungime au și aceeași perioadă de ondulație *T*. Pendulele din mijloc *2* și *3* diferă de celelalte (fig. 4, *e*). Balansăm pendulul din stînga, de exemplu. Să oscileze. La început se vor mișca toate pendulele dar după un timp se vor manifesta diferențe de perioadă între ele. Pendulele din mijloc se vor opri din oscilație în timp ce pendulul din dreapta va oscila puternic, deoarece are perioada de oscilație apropiată sau aceeași cu „generatorul".

Asemenea vibrații „prin simpatie" se observă de pildă și la mașina de cusut cînd masa pe care ea este așezată, vibrează la o anumită turație a mașinii. Sau cînd în apropierea unui pian căruia i se eliberează coardele, prin apăsarea cu piciorul pe pedala din dreapta și se emite cu vocea nota *la* pianul răspunde („răsună") făcînd să vibreze coarda *la*. Exemple de rezonanță sînt nenumărate.

Ca aplicație în muzică, se construiesc „incinte sonore" formate din mai multe difuzoare, care să favorizeze, prin dimensiunile membranelor lor, anumite frecvențe audio. La fel „acustica arhitectonică" proiectează săli de spectacole care să ofere „frecvențe maxime" de rezonanță fără reverberații.

Cutiile de rezonanță ale instrumentelor muzicale, cutiile armonice, scoicile mari cu volute, amplifică sunetele dintr-o bandă largă de frecvențe și fac să se audă un vuiet continuu.

De asemenea pentru a amplifica sunetul unui diapazon, acesta se așază pe o cutie de rezonanță calculată să rezoneze la 440 Hz.

Pentru a ne da seama că lumea noastră este cufundată într-un ocean elastic plin de sunete, generate de oscilații de toate tipurile, devenite unde (radiații) vom analiza, în mod general, spectrele acestor unde, provenite de la oscilații mecanice, electrice și electromagnetice.

Este interesant că toate aceste tipuri de oscilații de sincrotron, cosmice, de frînare, termice, sau herțiene au caracterul invizibil și inaudibil pentru simțurile omului, cu excepția a două benzi foarte înguste de „radiații vizibile" avînd frecvența de 10^{15} Hz și de „sunete audibile" cu frecvența de 20 – 20 000 Hz. Nomograma din figura 5 este necesară și în partea a doua a lucrării de față, unde se tratează probleme de radioelectronică.

În ceea ce privește sunetele, se observă că locul lor se află la capătul de

jos al spectrului radiaţülor şi sînt clasificate în raport cu frecvenţa lor în trei categorii : infrasunete, audiofrecvenţă şi ultrasunete.

Infrasunetele avînd frecvenţa sub 16 Hz, produc unde mecanice, care deşi sînt de aceeaşi natură cu undele sonore audibile nu pot fi auzite din considerente subiective, legate de simţul auzului uman, format pentru frecvenţe ceva mai înalte. Undele seismice, bătăile inimii sau oscilaţiile pendulului le putem percepe pe alte căi.

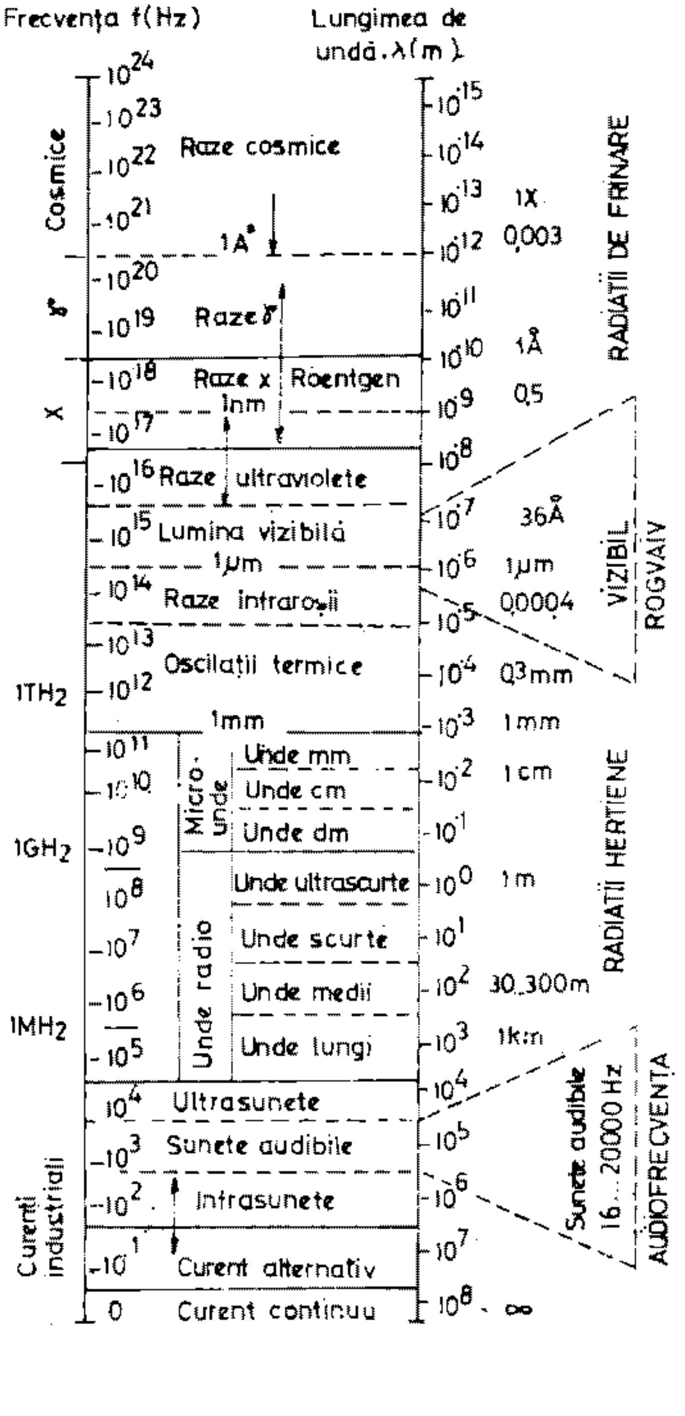


Fig. 5. Procese oscilatorii în natură şi clasificarea undelor mecanice, electrice şi electromagnetice în raport cu frecvenţa *(f)* şi lungimea de undă (λ).

Dacă intensitatea oscilaţiilor infraacustice este însă mare, ele au o acţiune dureroasă şi neplăcută asupra organismului. Drept exemplu, poate să servească aşa numita „vox-maris" (vocea mării), oscilaţii infraacustice puternice, care iau naştere pe malul mării, în cazul suprapunerii frecvenţelor valurilor cu cele ale vîntului.

Cu cîteva zeci de ani în urmă, cunoscutul fizician Robert Wood a confecţionat o sursă de infrasunete, care consta dintr-un tub enorm de orgă (deci pentru frecvenţă mică şi lungime de undă sonoră mare) pe care l-a folosit la repetiţia unui spectacol, dat la un teatru londonez. „S-a obţinut un efect neaşteptat — îşi aminteşte un gazetar, martor ocular — de genul aceluia care precede un cutremur de pămînt ; ferestrele zăngăneau, lustrele de cristal vibrau, sunînd ca nişte clopoţei. Vechea clădire a teatrului tremura, iar groaza se răspîndea în sală. Chiar şi locatarii caselor învecinate s-au alarmat".

Bineînţeles că regizorul a renunţat la asemenea „efecte sonore" stranii şi a aruncat afară neaşteptatul „colaborator". *Buciumul*, popularul instrument de la noi, emite note grave, puternice chiar în aer liber.

Cu toate acestea infrasunetele au aplicaţii care aduc importante servicii, dacă nu în artă, în ştiinţă. Există aparate sensibile care captează infrasunetele.

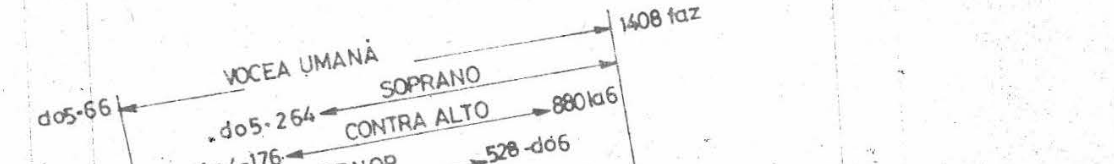


Fig. 6. Spectrul undelor sonore, frecvenţe fundamentale, octave, întinderea vocii umane şi a instrumentelor muzicale în raport cu clasificarea pianului şi a orgii mari.

Cu ajutorul lor geofizicienii prezic furtunile pe mare, studiază cutremurele, iar înainte vreme se foloseau în război, la detectarea avioanelor inamice, deoarece „urechile" detectoarelor de sunet aveau dimensiuni mari, captînd mai multă energie sonoră.

Oscilațiile mecanice din treapta de 15—16 Hz se pot percepe cu urechea.

Sunetele audibile încep așadar de la frecvența de 16 oscilații pe secundă, care este produsă de orga mare dar nu se prea folosește, deoarece sunetul fiind prea jos se distinge și se apreciază greu. În schimb 27 de oscilații pe secundă, dau un ton perfect clar pentru ureche deși se întrebuințează și el rar. Poate fi încercat pe clapa cea mai din stînga a pianului. Următorul ton interesant este pe frecvența „*sol*$_2$" — 49 Hz, reprezentînd recordul „inferior" absolut al basului profund. La 80 oscilații pe secundă aflăm nota cea mai de jos a unui bas bun și a unor instrumente. De aici încă o octavă se ajunge la zona cea mai populată cu instrumente și aproape toate vocile umane.

La acest sector a fost fixat etalonul muzical universal al înălțimii tonului : 440 de oscilații pe secundă (nota „*la*" a primei octave), după care se construiesc diapazoanele necesare la acordarea instrumentelor, pentru execuție și notație muzicală. Pe baza notei „*la*" se pot calcula frecvențele tuturor notelor.

Cele mai audibile sunete se întind de la 440—1 200 Hz. Pentru ca o audiție să fie mulțumitor inteligibilă trebuie să cuprindă cel puțin frecvențele între 1 000 și 2 000 Hz. Menționăm că frecvențele joase sînt necesare pentru a da vocii naturalețea, iar frecvențele înalte sînt necesare pentru inteligibilitate. Suprimînd frecvențele de sub 1 000 Hz, vorba pare nenaturală și stranie.

Pentru o bună reproducere a vorbei este necesar însă ca spectrul de frecvență să se întindă de la 300 la 3 000 Hz. În cazul cîntecului se va ridica limita superioară la 8 000 Hz, pentru vocea bărbătească și 10 000 Hz pentru vocea feminină.

Au existat cîntăreți a căror voce se extindea pe toate cele 4 registre ale vocii umane. Madau Robin, cîntăreață franceză cuprindea spectrul de frecvență de la „*do*$_5$" — 264 Hz (registrul I) pînă la „*re*$_8$" — 2 376 Hz (registrul IV).

Ultrasunetele au frecvența peste 20 000 Hz care nu este o limită fizică, deoarece unele viețuitoare (cîinii, păsările și alte animale) le percep foarte bine. Acest gen de sunete inaudibile se produc pe cale electronică prin circuite oscilante cu cuarț și se folosesc în tehnică la telegrafia submarină, la sondaje subacvatice ca sonarul, la sterilizare în medicină și alimentație, la prepararea unor produse chimice.

În natură liliacul, delfinul și unele insecte emit ultrasunete cu ajutorul cărora se orientează în spațiu.

Hipersunetele, au o frecvență mult mai mare, comparabilă cu aceea a luminii.

Pentru scopurile muzicale, domeniul auditiv se întinde de la 16—16 000 Hz iar benzile sonore de la marginile acestui domeniu sînt ca și lipsite de interes muzical, deoarece urechea umană nu percepe sunetele respective.

Trebuie menționat că la notația frecvențelor corespunzătoare domeniilor sonore ale diferitelor instrumente în raport cu claviatura pianului, (în figura 6) sînt trecute frecvențele fundamentale ale sunetelor. În realitate fiecare instrument și voce emite în același timp cu frecvența fundamentală și o serie de frecvențe suplimentare, denumite armonici, care dau instrumentului respectiv *timbrul* după care poate fi recunoscut chiar de către o ureche neexersată. Un sunet sau o voce sînt cu atît mai plăcute mai „dulci" cu cît sînt însoțite de mai multe armonici, avînd un timbru agreabil.

Așa se explică și faptul că domeniul de acoperire al spectrului de audiofrecvență, al unor instrumente muzicale este mult mai larg decît cel oferit de frecvențele fundamentale. De pildă, vioara conform figurii 6, ocupă spectrul dintre octava 1 și octava 3, respectiv 261 și 2 795 Hz, în realitate acest instrument acoperă aproximativ plaja între 200 și 13 000 Hz. De asemenea pianul ocupă spectrul între 30—12 000 Hz, trombonul — 100—700 Hz, flautul — 240—13 000 Hz iar orga mare — 16—9 000 Hz etc.

Vocea bărbătească în loc de 100—528 Hz (fundamentale) ocupă 100—8 000 Hz (bas, bariton, tenor) iar vocea feminină (de la mezopran ă la sopran ă) ocupă spectrul 200—10 000 Hz, datorită armonicelor ce însoțesc fundamentala, redînd nu numai fundamentala ci un sunet nou, plăcut.

Unele voci deosebite pot să acopere un registru sonor între 30—11 000 Hz.

Scara completă muzicală cuprinde 109 sunete muzicale, grupate în 9 octave, care au notarea lor corespunzătoare pe portative. Sunetul de referință (diapazonul) a fost aleasă nota „*la*" = 440 Hz, din octava 5, notele $la_1 \ldots la_9$ neavînd zecimale în calcularea frecvențelor. De pildă, la_1 are frecvența 27,500 Hz în gama egal temperată și în gama naturală la_2 (octava 2) are dublul frecvenței — 55, la_3 dublul — 110, la_4 — 220, la_5 — 440, la_6 — 880, la_7 — 1 760, la_8 — 3 520, la_9 — 7 040 și la_{10} — 14 080 Hz.

Aceasta este un sistem standardizat de notare a octavelor, sunetelor, muzicale fără pentagramă (portativ), de exemplu do_4, la_8, re_3, adică „*la*" din octava a 4-a, „*la*" din octava a 8-a etc., care nu este totdeauna posibil și comod de utilizat, astfel că există o varietate de notații. În țara noastră după noul STAS 1957/4-74, octavele sînt notate cu litera „*O*", simplă sau cu indici: $do^1, re^1, \ldots si^1$ și do^2 (gama centrală 264—528 Hz). Alte țări au alte sisteme. Nu intrăm în detalii, ceea ce interesează pe amatori fiind frecvența sunetelor din octavele centrale și nu modul de calcul în raport cu nota „la_5" (440 Hz).

Important de aflat este că singurul instrument care acoperă întreaga scară de nouă octave a sunetelor muzicale este *orga mare* (do_1 — do_{10} respectiv 16—8 372 Hz). Claviatura ei are 64 de clape albe și 45 negre adică exact 109 sunete muzicale, așezate pe mai multe *manuale*.

Diapazonul orgii mari echivalează cu o întreagă orchestră și este limitat doar de capacitatea auzului uman, astfel încît n-ar avea sens să fie extins

numărul sunetelor, și așa octavele 1 și 9, nu prea sînt sesizate de toți oamenii.

După orga mare, pianul este instrumentul — rege, avînd cea mai mare întindere față de celelalte instrumente cordofonice, aerofonice, membranofonice și autofonice (prin percuție). Pianele de concert se întind pe intervalul la_1 — do_9 (27,5—4 186 Hz), pe cînd cele obișnuite au 7—8 octave.

Este locul unde trebuie spus cîteva cuvinte despre acordurile plăcute și frumusețile armoniei, fapt perfect remarcat nu numai în cazul pianului ci și al oricărui instrument muzical într-un grad mai mare sau mai mic.

Încercați și loviți cu palma la întîmplare în claviatura unui pian. Se aude o cacofonie sonoră ce zgîriie urechea. Apăsați apoi cu degetele pe trei clape ale claviaturii deodată, lăsînd cîte una între ele libere. Diferența se observă imediat. Rezultatul este un *acord* plăcut, o *armonie*.

Nu ne vom afunda în subtilitățile teoriei armonice asupra căreia s-au scris mii de tratate, teorii, calcule matematice și dezvoltări ale esteticii muzicale ; ne vom lăsa călăuziți de simțul nostru auditiv mai mult sau mai puțin dotat. Principalul este că urechea apreciază în mod plăcut, să zicem o voce „melodioasă" față de alta dogită, alterată, care enervează uneori. Secretul armoniei ? Da ! Armonia guvernează tot universul vizibil și invizibil. Dacă urechea apreciază un cor armonios de armonice principale, pe care le „prepară" urechea dintr-un sunet pur, izolat din natură, atunci și o combinație artificială, calculată, de astfel de armonice vor fi bine primite, mai ales cînd sînt apropiate de armonia acustică naturală. Noua teorie a vocii susține că gîtlejul nostru este mai complicat decît un tub de orgă și mai ingenios alcătuit, fiind mai degrabă un fel de „difuzor" electrofiziologic

Helmholtz a fost primul fizician care a studiat sunetele în toate aspectele lor și a pătruns în substratul și subtilitatea lor. Cînd sună simultan mai multe note care diferă ca frecvență a oscilațiilor exact de două, trei sau patru ori, percepem ceea ce se numește o armonie.

Armonizarea unei melodii de bază se făcea la început cu ajutorul unor diagrame și tabele armonice ale lui Helmholtz. Mai tîrziu însă, compozitorii au început să introducă și disonanțele, care uneori nu mai țin seama de acustică ci de gustul timpului.

Cum arta sublimă a muzicii poate exprima în mod neconcret, adică într-un limbaj universal, toate sentimentele noastre, mîhnirea, mînia, tragismul, alături de bucuria, înălțarea sau dragostea, în cazul primei categorii este necesară o tonalitate minoră a facturii melodice și armonice, adică un „*mod*" cu nuanță melancolică, tragică în locul armoniei acustice naturale. Aceste alterări fac muzica de nerecunoscut prin disonanțele, uneori devenite zgomote, provocate de introducerea terțelor minore, un interval disonant între note. Acest mod minor s-a introdus cu greu în muzica europeană... Imnurile, marșurile, piesele solemne sînt scrise în general în modul major, pe cînd piesele lirice, reveriile, dramatice și triste, melancolice, în modul minor.

Asociația incoerentă de sunete spunem că este un semn al nemuzicali-

tății. Dar muzicanții au simțit nevoia să altereze structura acustică a acordurilor și cu acest gen de „mod minor" deoarece au mai introdus și alte multe transformări acustice-matematice ale muzicii.

În unele țări s-au făcut 5 trepte în cadrul unei octave, europenii au preferat șapte „trepte", alții 12 trepte.

Acest fel de a uni sunetele izolate în familii, cîntece și acorduri, se numesc *„moduri"*.

Modurile orientale diferă de cele europene sau americane, prin structura lor, coloritul național, legile după care sînt orînduite, la fiecare popor diferit, după specificul sunetelor și ale auzului. Structura și legile modurilor constituie o adevărată știință care implică multe cunoștințe și cultură muzicală.

Mulți creatori ai zilelor noastre au adoptat *scara temperată* cu 12 trepte, împerechiată cu disonanțe pregnante și sclipitoare, inaugurată de Bach, iar alții calea de a trece peste granițele tonurilor tradiționale ale pianului și orgii completînd paleta sunetelor cu un colorit nou.

Fizica în colaborare cu muzica se străduiesc, prin înțelegere, să alcătuiască o scară muzicală cu adevărat universală, studiind *sunetul*, *timbrul*, *modul* și *armonia* despre care s-a relatat pînă acum aici. Fapt este că acustica nu poate ajuta muzica pentru a trage o linie de separare obiectivă între consonanță și disonanță. Acest hotar este încă nestabilit, variind după popor, tradiție, cultură, simț muzical, specific sentimental etc.

Interesant este că acustica are legile ei fixe, pe cînd muzica organizează lumea sonoră oarecum „la inspirație" și acustica n-o poate opri. Astfel în sunetele muzicale se întîlnesc alături de fundamentală opt, mai rar 16 armonici dar adesea apar și 32 de armonici. Și iată un lucru curios : analizatoarele moderne de sunet au scos la iveală că unele corpuri sonore, chiar vocea unor deosebiți cîntăreți, cuprind pînă la a 32-a armonică, dintre care 12 sînt consonante cu fundamentala lor, 4 sînt disonante iar 15 nu sînt practic folosite. La fel la unele instrumente muzicale care produc armonici superioare intense, predomină un timbru strident, țipător, iar la instrumentele cu armonici inferioare intense timbrul lor este plin, bogat, inteligibil.

Intervalul de cvartă mărită — Fa (sol, la) SI numit în evul mediu „diavolul în muzică", părea atît de straniu și de disonant încît compozitorii nu-l foloseau, fiind și greu de executat cu vocea liberă.

În contrast cu disonanța, enarmonia (gr. en — harmoniu = „în unison cu") care ia naștere din două sunete egale ca număr de vibrații, dar cu nume diferite se aplică unui fenomen sonor, fizic. Enarmonia este posibilă numai în cazul octavei unei game egale temperate (cu 12 semitonuri egale).

Înălțimea sunetului este acea calitate care permite ca domeniul vibrațiilor să fie încadrat în una din cele trei categorii distincte : infrasunete, sunete audibile și ultrasunete. Înălțimea sunetului este deci determinată de frecvența oscilațiilor unei lame, coarde sau coloane de aer. Cu cît este mai mare frecvența cu atît sunetul este mai înalt. Notarea înălțimii sunetului se face pe un portativ

cu cinci linii (pentagramă) cu semnificație sonoră și grafică.

Tăria sunetului depinde de fluxul de energie care străbate unitatea de suprafață perpendiculară pe direcția de propagare a sunetelor. În loc de tăria sunetelor se poate spune mai obiectiv, intensitate auditivă deoarece „intensitatea sunetelor" nu reflectă dacă este vorba de vibrații sau de efectul lor, senzațiile. Deci *intensitatea acustică* reprezintă diferența dintre ceea ce auzim cu urechea omenească (senzația), din ceea ce produc sursele sonore (oscilațiile) sau cantitatea de energie adusă în unitatea de timp de unde sonore în urechea noastră (amplitudinea oscilațiilor particulelor de aer). Cu cît este mai mare amplitudinea oscilațiilor particulelor de aer, cu atît sunetul este mai intens. Amplificarea sunetelor se face și prin mărirea suprafeței radiante a difuzorului (fig. 7, *a*, *c*).

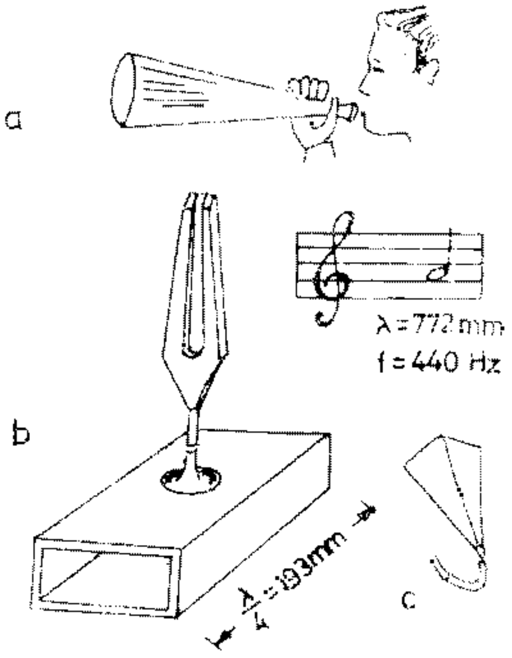


Fig. 7. Amplificarea sunetului prin mărirea suprafeței radiante : *a* — megafon ; *b* — diapazon : *c* — detector de sunete.

Intensitatea sunetelor depinde de mărimea suprafeței radiante. Făcînd un diapazon să sune în aer, el va suna slab. Dacă piciorul lui este așezat pe masă sau pe o cutie de rezonanță, sunetul se va auzi mai puternic (fig. 7, *b*). La instrumentele cordofonice (vioară, chitară) oscilațiile coardelor se transmit suportului de lemn și de la el se propagă în aer. La instrumentele aerofonice (de suflat), în care undele sonore sînt produse de oscilațiile aerului din tub, pentru a mări suprafața masei radiante a aerului se execută pîlnii largi la gură, ceea ce face ca sunetul să fie și dirijat.

Deoarece măsurarea directă a intensității acustice practic e greu de efectuat, se recurge la determinarea ei prin presiunea acustică.

Presiunea acustică reprezintă creșterea sau micșorarea presiunii atmosferice datorită acțiunii sunetelor sau zgomotelor. Orice compresiune reprezintă o creștere a presiunii și orice rarefiere a aerului o scădere a presiunii. Supra-

presiunile cît și subpresiunile alternative, produse de sursa sonoră sînt cu atît mai mari, cu cît amplitudinea oscilațiilor este mai mare. Deosebim presiunea acustică instantanee (P_i) care arată diferența dintre presiunea la un moment dat și presiunea atmosferică statică. Valoarea maximă a presiunii instantanee se numește presiune maximă (P_{max}).

De asemenea presiunea acustică eficace (P_{ef}) reprezintă valoarea mediei pătratice a presiunii instantanee, în interval de o perioadă, care poate fi măsurată cu un fonometru, sonometru etc.

Presiunea exercitată asupra timpanului urechii unui spectator dintr-o sală de concert poartă denumirea de presiune de radiație care se datorește energiei acustice (W_A).

Presiunea acustică se măsoară în *barii*, o barie fiind egală cu o milionime de atmosferă (0,1 newtoni pe metru pătrat). Baria se mai numește și microbar. Dacă apar numere cu multe cifre, se utilizează multiplul bariei, numit bar, aproape egal cu presiunea atmosferică. De fapt *barul* se folosește în meteorologie și este egal cu 10^5 newtoni pe metru pătrat.

Între 0,0002 barii (presiunea la pragul audibilității) și 2 000 barii (presiunea depășind pragul durerii) există un cîmp vast de variații ale presiunii, ca de la 2 la 20 000 000 de unități. Iată extraordinara sensibilitate a timpanului din aparatul auditiv !

Intensitatea undei sonore (acustică) se exprimă de obicei în W/cm^2 (în sistemul SI) iar *energia acustică* radiată de o sursă sonoră în unitate de timp se numește putere acustică (P) și se exprimă de obicei în W (wați).

Recapitulînd termenii enunțați pînă aici, privind caracteristicile sunetelor găsim : înălțimea sunetului, intensitatea acustică (tăria sunetului), presiunea acustică, puterea acustică, energia acustică, timbrul (culoarea) sunetului, fiecare cu unitățile lui de măsură.

Este bine să precizăm că exprimarea în unități absolute (a puterii acustice în wați, a presiunii în bari, și a energiei acustice în W/cm^2 este incomodă pentru măsurare, calcule și aplicații, de aceea s-a simplificat situația prin înlocuirea scării liniare (numerice) cu scara logaritmică (gr. logos = raport și arithmos = = număr). Reamintim că logaritmul este puterea la care trebuie ridicat un număr fixat (baza) pentru a obține un număr real dat $N > 0$. De pildă, cifra 3 este logaritmul lui 8 deoarece $2^3 = 8$. Se va scrie atunci $\lg 8 = 3$.

În progresie aritmetică numerele 0, 1, 2, 3, 4, 5 . . . cresc de la unul la altul cu rația 1 ; în progresie geometrică cu rația 2 (cu care se înmulțește) : $1 = 2^0$, $2 = 2^1$, $4 = 2^2$, $8 = 2^3$, $16 = 2^4$, $64 = 2^6$.

Se observă că există o relație clară între termenii de același rang din cele două progresii. Astfel termenul 3 corespunde cu $2^3 = 8$, termenul 5 corespunde cu $2^5 = 32$ etc.

Cînd se schimbă baza, se schimbă și valoarea logaritmului. Dacă înainte log $2^3 = 8$, în baza 10 va fi log. $10^8 = 0{,}90309$, valoare ce se găsește gata calculată în tabele.

Aceste considerații, e drept aride, par a nu avea legătură cu muzica. Dar trebuie știut că în ceea ce privește fiziologia urechii, ea funcționează pe bază de logaritmi, lucru nebănuit nici chiar de descoperitorul calculului logaritmic, scoțianul John Neper (1550—1617).

Aplicînd cele spuse, în domeniul percepției înălțimii sunetelor, vom concretiza cu ajutorul claviaturii pianului (fig. 6) care nu este altceva decît o scară logaritmică de frecvență.

Se observă pe figură, că octavele se succed în progresie aritmetică cu rația 1 de la 1—9, pe cînd frecvențele cresc în progresie geometrică cu rația 2 adică se dublează, de la un „*do*“ la cel următor, 2^1, 2^2, 2^3 . . . etc. Deci matematica și fizica nu sînt simple speculații în muzică sau oarecare curiozități ci explică fenomene pe care nu le cunosc cei ce cîntă după... ureche. E drept că la claviatura orgii și a pianului s-a ajuns pe cale empirică fără să se cunoască proprietățile logaritmice ale auzului.

Prin cercetări de laborator și pe bază de teste, se pot măsura azi precis senzațiile auditive produse de sunete, trăgînd unele concluzii concrete asupra aparatului auditiv (fig. 8).

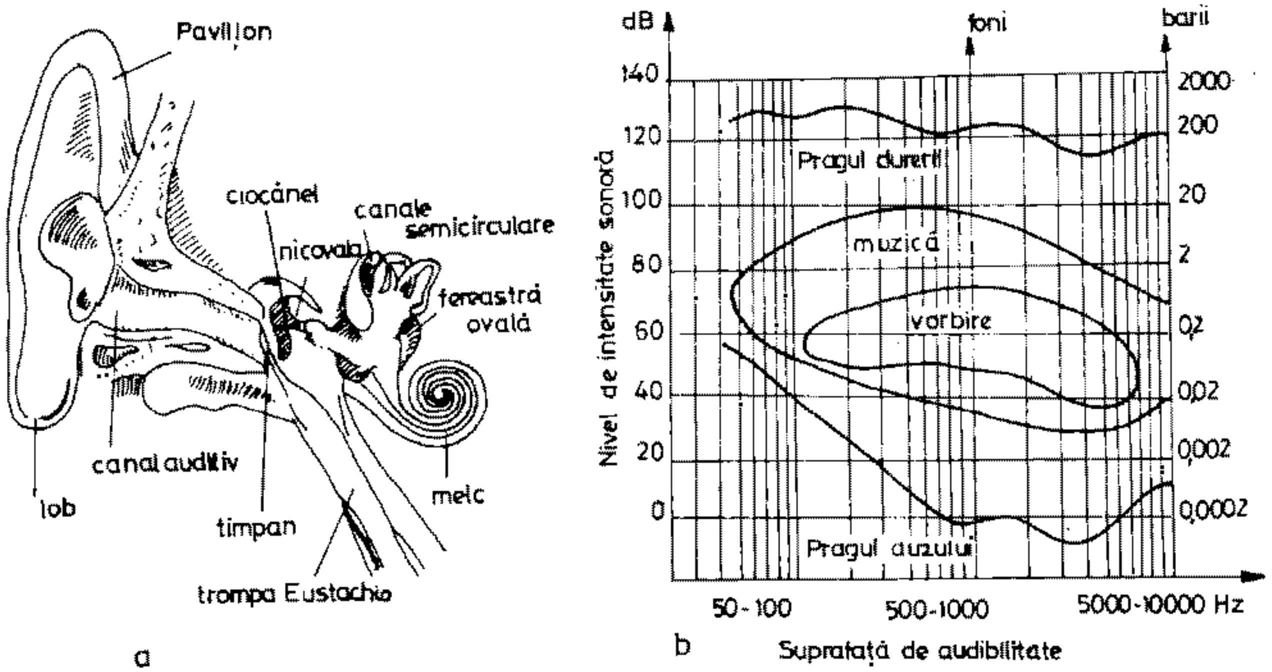


Fig. 8. Anatomia urechii : *a* — secțiune ; *b* — pragul audibilității și durerii la intensitatea sunetelor.

Organul auditiv al omului este un traductor al variațiilor de presiune acustică în sunete și zgomote, avînd o capacitate deosebită de percepere a unui domeniu sonor cuprins între 16—16 000 Hz. Valoarea minimă de inten-

sitate sonoră, care se schimbă și în raport cu frecvența, se numește *prag de audibilitate* iar valoarea maximă la care se poate adapta auzul este așa-numitul *prag de durere*. Nici un instrument de măsură nu are o scară atît de largă de intensități. Secretul se datorează configurației urechii umane, care în mod automat își schimbă sensibilitatea în funcție de tăria sunetului. Astfel compozitorii folosesc posibilitatea de a impresiona auditoriul trecînd de la un sunet *piano* la un pasaj *forte*.

Urechea captează vibrațiile (undele sonore) și le analizează prin nervul acustic elaborînd senzația acustică. Imagini auditive, reminiscențe, amintiri auditive se suprapun peste cele noi și formează impresia muzicală atît de complexă.

Alcătuirea fiziologică a urechii (fig. 8, *a*), prezintă urechea externă, canalul auditiv care are frecvența de rezonanță maximă de circa 3 000 Hz (fa_8 diez) la care presiunea acustică se triplează față de intrarea în conduct (canal). Avem de-a face cu o cameră rezonatoare, cu o puternică amplificare.

Timpanul, un fel de manometru foarte sensibil, nu răspunde la vibrații peste 16 000 – 20 000 Hz și nici la sunete sub 16 Hz. Casa timpanului are forma unei lentile biconcave.

De aici sunetele intră în cavitatea timpanică (3 × 15 mm) unde găsește aer pătruns prin rinofaringe și ciocănelul lovește în nicovală, scăriță, membrana ferestrei ovale și trece în labirintul aflat în urechea internă, organ cu o alcătuire foarte fină, săpat în osul temporal. Din fereastra ovală se intră în vestibul, pătrunde în melc sau cohlee. Aici se petrece transformarea vibrațiilor în energie sau influx nervos. Sensibilitatea urechii pentru frecvențe peste 4 000 Hz este inegală, acestea fiind transformate în unde plane datorită difracției.

Important este că fenomenul adaptabilității imense a urechii se datorează faptului că senzația auditivă (tăria) variază, demonstrat experimental, direct proporțional cu logaritmul excitației produsă de intensitatea sunetului, lege stabilită de fiziologul Weber (1795 – 1878) și formulată de fizicianul și filozoful Fechner (1801 – 1887) astfel : intensitatea senzației crește cu logaritmul în bază 10 al intensității stimulului (excitantului).

Nivelul de intensitate acustică este raportul dintre intensitatea sunetului la un moment dat și intensitatea de referință $N = I/I_{ref}$. Unitatea de măsură a nivelului de intensitate acustică s-a stabilit astfel încît logaritmul nivelului de intensitate să fie egal cu 1. Deci $N_1 = \lg I/I_{ref} = 1$. Această unitate de măsură poartă numele de *Bel* după numele savantului Graham Bell, inventatorul telefonului. Belul fiind o unitate prea mare s-a introdus o unitate de 10 ori mai mică — *decibelul*, definit ca fiind unitatea care exprimă prin logaritm zecimal, raportul a două valori ale aceleași mărimi, exprimată prin formulele :

Pentru intensitate, $N_I = 10 \lg \frac{I}{I_{ref}}$ dB) ;

Pentru presiunea acustică $N_p = 20 \lg \frac{P}{P_{ref.}}$ (dB).

Decibelul este o unitate de atenuare a intensității, tensiunii, puterii, cu alte cuvinte exprimă slăbirea unui semnal dar și întărirea semnalelor produse de un amplificator. În primul caz avem o pierdere de atîți decibeli iar în al doilea caz raportul este considerat pozitiv și avem un cîștig de atîția decibeli.

Fonul este unitatea prin care se exprimă nivelul de tărie și care corespunde mărimii fizice de intensitate sonoră, percepută de ureche. Fiind unitate subiectivă se referă la intensitatea percepeții și nu la intensitatea sunetului.

Fonul este o expresie logaritmică întocmai ca și decibelul, avînd aceeași definiție.

Pentru presiune $N_F = 20 \lg \frac{P}{P_{ref/100}}$ (foni)

Fonul diferă de decibel, prin faptul că se referă totdeauna la sunet și că nivelul zero e limita audibilității. La frecvența de 1 000 Hz, 1 fon = 1 decibel ; pentru toate celelalte frecvențe nivelul de tărie este egal cu K foni. Fonul este o treaptă de sensibilitate. Urechea cuprinde 140 de trepte de sensibilitate (foni). Limita superioară o formează sunetele care produc senzație de durere.

În gama de 140 foni, orchestrele cuprind un interval de 70 foni, iar transmisiile radiofonice numai 40 de foni.

Mai remarcăm că scara fonilor este cuprinsă între limitele 0 . . . 140 foni, pe cînd cea a decibelilor nu are limită superioară decît în funcție de surse sonore de mare putere acustică (în prezent doar racheta cosmică la decolare atinge 200 dB).

Prin încercări de laborator Fletcher și Munson au elaborat o diagramă asupra proprietăților aparatului auditiv uman (fig. 8, *b*), avînd o mare importanță practică. Această curbă se referă la subiecții cu auzul perfect.

Se observă că cea mai mică presiune sonoră necesară audiției corespunde la frecvențe situate aproximativ în banda de 3 000 – 4 000 Hz, adică în medie în jurul lui „*la*" = 3 520 Hz (0 dB).

Curba care indică pragul durerii la presiunea (intensitatea) acustică maximă arată că variază puțin cu frecvența, fiind doar puțin ondulată în jurul nivelului de 120 dB.

Se menționează că numai pentru sunetul de 1 000 Hz numărul de decibeli este egal cu numărul de foni cum s-a spus anterior.

În electroacustică, diferența de nivel între sunetul cel mai puternic și cel mai slab, care poate fi emis de o sursă sonoră sau electroacustică constituie *dinamica sonoră*, notată în decibeli sau foni. Relația dintre unitățile de

măsură a nivelului sonor este :

1 Neper = 8,686 dB ; 1 dB = 1 fon (la 1 000 Hz) = 0,115 neperi.

Dinamica acustică a unor surse sonore, față de intensitatea celui mai slab sunet perceptibil (10^{-16} W/cm^2) măsurate în unități diverse este redată în tabelul 1.

Tabelul 1

Diapazonul intensității sunetelor măsurat în unități diverse

Sursă sonoră (măsurată la distanța de 1 m)	Nivelul de presiune dB	Intensitatea foni	Putere acustică W/m^2
Sunetul auzit de cea mai perfectă ureche — picătura de apă	0	0	0,000001
Tic-tacul ceasului de mînă	20	20	0,0001
Șoaptă	10	10	0,01
Stradă liniștită fără circulație	35	30	0,01
Discuție înceată	60	55	1
Discuție aprinsă sau tunet	80	80	100
Voce, cîntăreț obișnuit	100	100	10 000
Motocicletă — sirenă	90	90	10 000
Formație de muzică ușoară	45—90	50—85	100
Orchestră simfonică	80—100	80—95	10 000
Pianissimo	40	40	0,01
Mezo-piano	60	50	0,01
Mezo-forte	60	65	1
Fortissimo (ff)	80	80—90	100
Forte-fortissimo (fff)	90	80—105	10 000

La sfîrșitul tabelului sînt redate și cîteva nivele sonore ale sunetelor de interpretare muzicală, considerînd ca referință liniștea totală, 0.

Mai jos redăm și cîștigurile medii de amplificare, în decibeli, obținute de la un amplificator de audiofrecvență, pentru diferite puteri de ieșire :

1 wat . . . + 15 dB ; 15 wați . . . + 36 dB ;
4 wați . . . + 28 dB ; 30 wați . . . + 38 dB ;
7 wați . . . + 30 dB ; 100 wați . . . + 45 dB ;
10 wați . . . + 32 dB ; 200 wați . . . + 60 dB.

Se recomandă ca amplificatorul respectiv să aibă un zgomot de fond cît mai redus, dinamica sonoră fiind avantajată. Pentru o cameră de locuit sînt suficienţi cîţiva waţi, iar pentru o sală se preferă un amplificator de 10–15 waţi.

Din punct de vedere practic se pune adeseori întrebarea: ce putere trebuie să aibă o instalaţie de amplificare radio pentru a fi bine auzită de spectatori la o intensitate de circa 50 de foni ?

Răspunsul depinde de : rezonanţa sălii, distribuţia auditoriului, zgomotul de fond al mediului (se dansează sau se vorbeşte) etc.

O formulă empirică simplă, care poate folosi celor interesaţi este :

$$N = 0{,}005\ Kn$$

în care N = puterea amplificatorului exprimată în waţi ;
n = numărul de persoane ce pot intra în sală ;
K = factorul de ambianţă (între 1–5 ; 2–3 ; 3–5), zgomote de fond.

Pentru audiţiile în aer liber se poate folosi următorul criteriu : 10–15 waţi acoperă o suprafaţă circulară sau pătrată cu latura de 60 metri, adică circa 3 600 m^2, în cazul difuzoarelor cu radiaţie circulară.

O curiozitate a adaptabilităţii urechii ne arată că la niveluri de tărie mai mici urechea este mai sensibilă, decît la niveluri de tărie mai ridicate.

SUNETE „ZGOMOTOASE"

Pînă aici am definit sunetul muzical în fel şi chip. Sîntem obişnuiţi să spunem că sunetele „calde" cu nuanţă „argintie", timbru „clar" şi „catifelat" sînt ideale dar a nu recunoaşte că pot exista şi sunete „dogite" sau „zgomotoase" nu ar fi corect.

Specialiştii spun : bătaia tobei şi ţăcănitul castanietelor sînt pur şi simplu nişte zgomote pe cînd „tropăitul muştei" şi „bîzîitul ţînţarului" ca şi „urletul lupilor" sînt sunete muzicale. Totuşi toba nu poate lipsi din mai nici o formaţie muzicală. Ce este de fapt un zgomot ? Unii zic că nu este nimic altceva decît un sunet nedorit, care „gîdilă în mod neplăcut urechea", un efect neplăcut al vibraţiilor sonore, un amestec nereuşit de frecvenţe. Sau în altă variantă „un sunet care ne împiedică alte sunete" şi produce „poluare sonoră".

Vechea distincţie însă, între sunetul muzical şi zgomot este astăzi depăşită deoarece, susţin specialiştii „orice eveniment sonor poate crea o informaţie estetică în dependenţă de relaţia psihologică a destinatarului mesajului".

O altă definiţie care ţine seama de compoziţia spectrală grupează sunetele în : sunete simple (pure), sunete complexe şi zgomote. Curios este că zgomotele sînt cele mai numeroase şi mai variate forme de oscilaţii, un amestec de sunete de orice fel, fără componenţe bine definite, în general fără formă stabilă, impresionînd aparatul auditiv în mod nedorit şi neutil psiho-fiziologic. Zgomotele sînt produse în mare parte de activitatea omului. Este drept că

nici extrema opusă „liniștea absolută" dintr-o peșteră profundă nu este de dorit. Noi cei de azi nu coexistăm într-o „lume a tăcerii".

În aprecierea zgomotelor, factorul subiectiv are un rol deosebit, dar există un nivel la care începe senzația de neplăcere care poate atinge stări traumatice.

Cu toate aceste dezavantaje, unele zgomote devin plăcute și chiar utile ascultătorului (căderea apei unei mici cascade, valurile mării, foșnetul frunzelor, „un concert în luncă", șuieratul vîntului printre copaci) și paradoxal unele sunete curat muzicale devin insuportabile fiind apreciate ca zgomote. Adevărul este că orice sunet muzical cuprinde în structura lui o parte de zgomot și în unele compoziții moderne concrete se introduc intenționat zgomote diferite. Menționăm în special muzica funcțională de film și RTV, în care întîlnim alături de vorbă, muzică și zgomotele care dau o notă de culoare și expresivitate, ca în viața reală. Unele instrumente de percuție (tobe, talgere, morișca, mașina de vînt, gongul, trișca etc.) produc zgomote și totuși sînt utilizate în muzică. Mai amintim „zgomotul" produs de o orchestră care își acordează instrumentele înaintea începerii unui concert. Nu fac impresia unor zgomote, cu toate că au „intenții" muzicale ? Un butoi plin sună, unul gol face zgomot cînd se rostogolește. Toaca lovită la întîmplare e zgomotoasă, dar lovită ritmic dă sunete. Două situații diferite cu aceeași cauză dar una nedorită, alta dorită. Un glisando pe coarda viorii e sunet, aceeași alunecare „scîrțîită" e zgomot.

Un insensibil neinteriorizat clasifică spargerea valurilor de țărm, un zgomot asurzitor în timp ce poeții și scriitorii vorbesc de „armonia valurilor înspumate de smarагd".

La fel două claxoane acordate la interval de terță mare, ascultate izolat par neinteresante, dar cînd sună simultan sau alternativ atrag urechea prin sunetul lor muzical. .

În domeniul acusticii se întimplă un fenomen curios privitor la zgomot : la orice atac sau extincție a unui sunet ia naștere involuntar un zgomot, cu atît mai intens cu cît atacul este mai brusc. Avem de a face cu un *regim tranzitoriu* al oscilațiilor, în perioada de trecere de la starea de repaus, la cea de oscilație și invers. Aceste regimuri dau de cele mai multe ori senzația de distanță, de spațiu, de adîncime. Tăind de pe o bandă de magnetofon atacul notelor, la redare se va observa că timbrul instrumentului va fi greu de recunoscut.

Regimul tranzitoriu influențează gradul de asprime al senzației sonore, de distanță, de întindere, de înălțime, de claritate și de inteligibilitate.

Este factorul zgomot necesar și inevitabil în muzică ? S-a creat prejudecată că acest factor este dăunător din punct de vedere artistic și trebuie limitat. Este imposibil, deoarece în orice muzică există o cantitate inevitabilă de zgomote introduse special. Reamintim instrumentele de percuție, cu care se obțin accentuările și amploarea atacurilor unor pasaje. Însuși pianul este considerat uneori ca instrument de percuție și folosit pentru a varia și mări dinamica sonoră.

După atîtea „avantaje" pe care le oferă zgomotele în muzică este bine să amintim că aceleași zgomote devin de nedorit în cazul tehnicii reproducerii sunetelor prin radiotehnică. Mărirea fidelității transmisiilor radiofonice precum și reproducerile fonografice și magnetofonice este de dorit, aici nefiind loc nici pentru cele mai insensibile zgomote.

În concluzie, realizarea de sunete muzicale pure este un deziderat nerealizabil și nici necesar deoarece ar duce la o artă lipsită de naturalețe. Iluzia perfectă a realității este utopică astfel încît zgomotul în muzică este inevitabil dar și necesar.

SUNETUL ȘI AUZUL

Există o mulțime de zgomote legate de sunet, unele adevărate curiozități și amuzamente. Vom relata o parte din ele ca avînd aplicații practice interesante, unele încă neaplicate.

Sperăm că va da de gîndit unora din cititorii dornici de a descoperi noi idei din lumea sunetelor.

Efectul Doppler (-Fizeau), variație aparentă a frecvenței (sau lungimii de undă) a unei surse sonore pentru un observator aflat în mișcare relativă față de aceasta.

Oricine a constatat, probabil — că fluieratul prelung al locomotivei ce i-a trecut prin față în viteză mare capătă înălțimi diferite. Cîtă vreme trenul se apropie, auzim un sunet oarecare, de o înălțime oarecare. Dar după ce locomotiva a trecut de noi și a început să se îndepărteze, fluieratul ei capătă un timbru mai grav, parcă ar scădea frecvența lui.

Cristian Doppler, fizician austriac, a explicat acum aproape 150 de ani (1842) de ce o sursă de sunet aflată în mișcare, cum ar fi sirena unui tren sau claxonul unui automobil, este auzit fie ca un sunet mai înalt, fie ca unul mai grav. Sursa sonoră emite cu aceiași frecvență mereu unde sonore, care pornesc spre ascultător înainte ca cele produse anterior să fi ajuns la el. Deci crește numărul undelor auzite și se produce o însumare a frecvențelor rezultînd o frecvență de valoare mai mare, și sunetul pare mai acut. Cînd sursa sonoră se îndepărtează, numărul undelor care ajung la ascultător se micșorează și implicit frecvența scade, auzind un sunet mai grav.

De asemenea și lungimea de undă a luminii unei surse care se îndepărtează apare mărită, adică pare că scade frecvența ei, schimbînd culoarea spre roșu deoarece și lumina se propagă prin unde.

La întrecere cu sunetul. Se pune întrebarea : oare ce am auzi dacă ne-am îndepărta de o orchestră, cu viteza sunetului, în timp ce ea cîntă pe loc ? Am putea trage concluzia pripită folosind o comparație ; sunetele s-ar ține după noi ca și bagajele pe care le avem în avion. S-ar părea că am auzi un singur sunet, cel care a fost cîntat în momentul plecării noastre.

Eroare ! Cînd ne îndepărtăm cu viteza sunetului, distanța între undele sonore și noi va rămîne constantă. Undele sonore nu ne poț prinde din urmă. Așadar nu auzim nici un fel de sunete, ca și cum orchestra ar fi încetat brusc să cînte. O singură vibrație a sunetului mai ajunge la noi, cea din momentul pornirii noastre, care se pierde și ea în aer.

Or, numai un șir de vibrații, la intervale regulate dau impresia de sunet.

Fantome... sonore. Tot ce există în natura vie are o cauză și un sens : nimic nu e de prisos. Urechea noastră lărgește imens bogăția percepțiilor sonore și le face mai flexibile și mai fine. Desigur nu în scopul unei înfrumusețări fără sens. Să fie oare simple iluzii acustice ? Să exemplificăm. Orice poate încerca o experiență pe care o fac regizorii de film și RTV cînd au nevoie de voci extraterestre, din lumi îndepărtate, a unor personaje misterioase, din spectacole fantastice, cu zboruri cosmice, uriași și pitici. Ridicați capacul unui pian și apăsați pedala de ridicare a amortizoarelor de sunet și strigați cît de tare. Veți auzi propria voce reflectată destul de clar de coardele pianului și veți recunoaște sigur vocalele „a", „e", „i", „o", „u".

Această observație i-a sugerat acum o sută de ani, medicului fiziolog și fizician Helmholtz, întemeietorul acusticii muzicale, ideea de a realiza sunete și mai ales să afle : cum aude urechea ? Presupunerea din „teoria rezonanței auzului" nu l-a convins. Și perseverînd află că în incinta urechii interne se găsește ceva extraordinar : ...o copie minusculă a pianului, cu aproape douăzeci de mii de „coarde" formate din fibre elastice de diferite dimensiuni, cîte o „coardă" pentru fiecare frecvență a vibrațiilor audibile. Acest mic rezonator-analizator, se află așezat într-un tubuleț de os cotit, umplut cu un lichid special. Undele sonore se propagă prin lichid, perpendicular pe fibrele-coarde și fiecare rezonînd la frecvența sunetului respectiv, excită terminațiile nervului auditiv iar influxul se transmite creierului sub formă de informație.

Creierul și urechea fac neîncetat calcule asupra informației sonore, adună, scade, multiplică frecvențe fundamentale, armonice și în final cea mai simplă excitație sonoră, de o oarecare intensitate, se transformă în mintea ascultătorului într-o armonie de un anumit timbru sau coloratură sonoră. Fenomenul seamănă cu mișcarea imaginii în cinematografie datorită nu numai persistenței pe retină ci și unui proces psihologic.

Explicația de mai sus este doar o imagine sumară a realității fiziologice a auzului prin așa numita *membrană bazilară.* În fond, Leibniz, unul din creatorii matematicii,cînd a afirmat că „muzica este exercițiul inconștient al sufletului în aritmetică", avea dreptate, deoarece procesul auzului, încă în curs de lămurire, este extraordinar de complicat, avînd contigență cu bioenergetica.

Așa numitele „fantome sonore" — rezultate din combinațiile unor tonuri neemise, un fel de sunete secundare care însoțesc sunetele a două coarde, au fost sesizate încă din secolul al XVIII-lea de violoniști și organiști celebri, cu auzul perfect normal și sănătos. S-a confirmat ulterior, un fapt

ciudat, că urechea și creierul nu sînt numai niște analizatoare ci și „instrumente muzicale" creatoare automate de sunete noi care înfrumusețează după plac ceea ce se cîntă de către un cor sau o orchestră.

Încă o dovadă în plus : telefonul. Frecvențele sonore joase, necesare pentru a da naturalețe vocii nu se transmit prin cablul telefonic, din motive de simplitate și economie, dar urechile abonaților „restaurează" vorba admirabil și o face inteligibilă. În mod normal pentru a fi bine reprodusă vocea, necesită un spectru de frecvență între 300—3 000 Hz și dacă se „taie" o parte din frecvențele joase atunci urechea repară instantaneu sunetul deteriorat, ce poate fi astfel ușor recunoscut, datorită „tonurilor de combinație" și a sensului cuvîntului transmis. Unele consoane depășesc 5—6 000 Hz și se pot confunda. De pildă „*s*" cu „*f*" ; „*j*" cu „*z*" ; „*d*" cu „*g*" etc.

Vocea la analiză. Dacă posedați un magnetofon sau un casetofon, nu se poate să nu fi înregistrat propria voce pentru ca apoi, cu mare interes să ascultați cum „sună". Dar, surpriză ! Oricît de plină de calități ar fi aparatura, redarea... vă dezamăgește și exclamați : „nu este vocea mea" cu toate că persoanele din jur nu sesizează nici o diferență. Care este cauza divergenței de păreri ? O cunoaștem cu toții dar o ignorăm.

Fig. 9. Curiozități ale vocii ; *a* — fantome sonore : *b* — oglinzi acustice.

Toate sunetele din afară le percepem cu urechile, dar sunetele propriei voci le „auzim" prin intermediul oaselor craniene (un mediu mai dens ca aerul) și prin ele se transmit nervului auditiv. Toți cei din jur ne recunosc după timbrul „aerian" al vocii noastre, care era înregistrat și pe bandă pe cînd noi „ne auzim" vorbind sau cîntînd prin oase (osteofonie).

Încercați să spuneți cu o tărie uniformă cîteva cuvinte și ascultați-vă ca de obicei, iar apoi repetați cuvintele astupîndu-vă urechile (fig. 9, *a*). În cazul din urmă vă veți auzi glasul mult mai tare, deoarece ați eliminat sursa externă de zgomote care atenuează sunetele vocii. Ceva similar se întîmplă cînd ronțăim pesmeți ; auzim un zgomot enervant, în timp ce vecinii noștri mănîncă și ei fără a produce același zgomot.

Reflexia sunetelor. Orice obstacol (gard înalt, clădiri, munte, pădure) poate întoarce sunetul spre altă direcție, reflectîndu-l, la fel cum o oglindă placă reflectă lumina.

Luați două farfurii adînci (care țin loc de oglinzi concave) și puneți una pe masă ținînd la cîțiva centimetri de fundul ei, un ceas de buzunar sau de masă, mai mic. Apropiați cealaltă farfurie de ureche ca în figura 9, *b.* Căutați cea mai convenabilă poziție a ceasului și a farfuriei și veți auzi cum tic-tacul ceasului pornește parcă din farfuria ținută la ureche.

Pentru ca iluzia să fie perfectă închideți ochii și va fi imposibil de determinat, după auz, în ce mînă se află ceasul.

Doriți să știți ce aplicație ar putea avea asemenea fenomene ? Constructorii vechilor castele, creau pe acest principiu, adevărate „minuni" acustice : busturi de piatră ale căror buze păreau că șoptesc sau îngînă un cîntec (adus din afară prin tuburi acustice și dirijate prin dispozitive în formă de cupolă).

De asemenea, *acustica arhitectonică*, o ramură care se ocupă cu asigurarea calităților, cerute unei bune audiții în studiouri, săli de spectacole, ține cont de fenomenul reflexiei sunetelor în cel mai înalt grad. „Orice sunet produs într-o încăpere se aude destul de multă vreme după ce sursa a încetat să-l emită ; datorită unor reflexii repetate, el înconjoară de cîteva ori încăperea".

Înainte vreme amenajarea unei săli cu acustică bună putea fi considerată o întîmplare fericită, în prezent se cunosc mijloacele prin care se poate înlătura *„reverberația"*, acea durată supărătoare a sunetului. Printre sursele de absorbție a sunetelor (suprafețe absorbante, ferestre deschise) se numără înșiși spectatorii după cum remarca un fizician : „auditorul absoarbe cuvîntul oratorului la propriu și la figurat".

Colecționarul de ecouri. A existat un asemenea maniac într-una din povestirile umoristice ale lui Mark Twain. A cumpărat în diferite locuri pe glob ecouri : cu șase repetiții, altul cu 13 repetiții etc. iar în Tennesse a achiziționat un ecou ieftin fiindcă necesita... reparații ; se prăbușise o parte din stîncă. Arhitectul care s-a oferit să-l repare mai rău l-a stricat, rămînînd „bun doar pentru azil de surdo-muți".

Pe glob există cu adevărat multe locuri cu ecouri renumite. Într-un castel ecoul repetă clar 27 de silabe, după rostirea lor, dar prin dărîmarea unui zid ecoul a încetat. În alte țări niște stînci așezate în semicerc, repetă de trei ori cîte șapte silabe dar la cîțiva pași de acel punct nici chiar focul de armă nu produce ecou.

Într-un castel de lîngă Milano, un foc de armă tras de la una din ferestre este repetat prin ecou de 40—50 ori, iar un cuvînt rostit mai tare de vreo 30 de ori.

Ecouri se produc și în munții noștri. Sînt variate ca intensitate și durată. Într-un șes mărginit de păduri ecourile sînt mai dese decît în munți.

Ecoul nu este altceva decît întoarcerea undelor acustice, reflectate de un obstacol oarecare.

Acum ceva practic legat de fenomenul fizic — ecoul, atît de des întîlnit în viață.

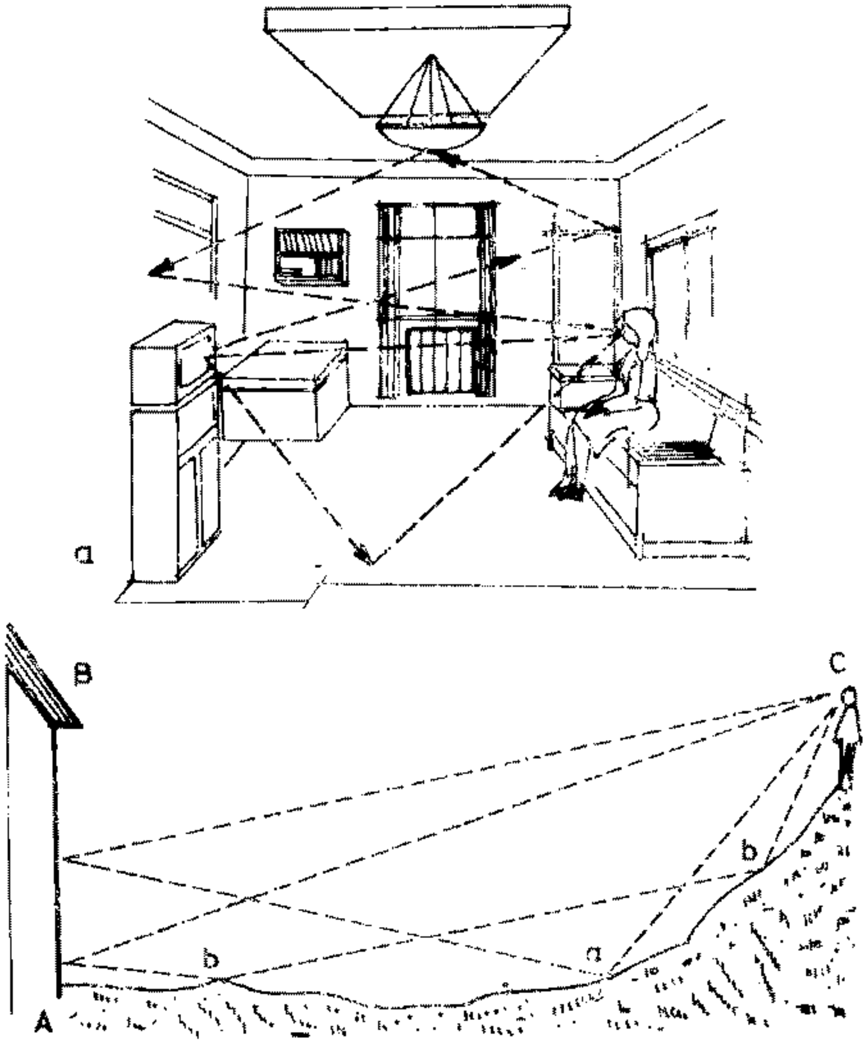


Fig. 10. Cum se produce ecoul : *a* — în cameră ; *b* — ecoul este mai clar în aer liber.

Este vorba de un radioreceptor care în aer liber se aude mai slab iar cînd îl aducem în cameră, el o umple cu niște sunete clare, puternice de parcă este alt aparat. Explicația e simplă.

Într-un loc deschis unda acustică ajunge pînă la noi și pleacă mai departe, cu alte cuvinte auzim fiecare sunet al difuzorului o singură dată.

În cameră, cum se observă din figura 10, *a*, se aude simultan de mai multe ori sunetul ce pleacă de la radioreceptor : unda directă și încă două unde indirecte, reflectate de pereții camerei, mobilier etc. Dar aceasta nu este totul. Numărul total de reflexii se ridică la cîteva... sute într-o cameră prin repetare, pînă se amortizează. Toate undele acestea cu energii diferite se însumează, însă asupra percepției auditive acționează de obicei primele 5—10 reflexii, dînd acea senzație de prelungire a fiecărui sunet, de circa o zecime de secundă, ceea ce nu se observă. Se naște întrebarea : se poate produce în cameră așa-

numita *„desprindere a sunetului"* reflectat de sunetul principal ? Nu, nu se poate. Pentru a auzi separat două sunete emise de aceeași sursă ar trebui ca intervalul dintre ele să fie cel puțin de 1/16 din secundă.

Dacă intervalul dintre sunete va fi mai mare decît 1/16 s, sunetele se vor „desprinde" unul de altul. Cu toate acestea, dacă o coardă ar vibra cu 15–16 oscilații pe secundă noi am înceta pur și simplu de a mai auzi sunetul, trecînd în domeniul infraundelor.

Interesant este că același număr (1/16) este pragul de sensibilitate și al ochiului. Ochiul reține o excitație (în cazul filmului — o fotogramă) doar 1/16 din secundă, datorită inerției ochiului. Dacă se transmit mai mult decît 15–16 fotograme pe secundă, nu se mai observă pîlpîirea (pulsația) imaginilor și mișcarea obiectelor, oamenilor pare normală, lină și continuă.

Revenind la sunet, în a șaisprezecea parte din secundă sunetul străbate distanța de 50 m și prin urmare un ecou puternic (al primei reflectări) s-ar putea obține doar într-o cameră cu distanța între pereți de cel puțin 25 m (mai rar întîlnit) pentru ca sunetul direct să parcurgă 25 m + 25 m, sunetul reflectat.

Cu acest exemplu sperăm că se poate face distincția între *ecou* (desprinderea sunetului reflectat de sunetul de bază) și *reverberație* (mărirea intensității sunetului și a duratei lui, fără „desprindere").

Este interesant să ne întrebăm acum : unde dispare în definitiv sunetul ? El are doar o anumită energie care nu poate să dispară fără nici o urmă.

Undele sonore, fiind o oscilație mecanică a particulelor de aer se transformă pînă la urmă în căldură, energia lor fiind folosită pentru a învinge frecarea între moleculele de aer și pentru încălzirea pereților și a mobilierului. Desigur că nu se observă vreo creștere de temperatură a camerei chiar dacă energia „acustică" dezvoltată de receptor în decurs de un an s-ar degaja dintr-o dată.

Ecoul în aer liber este ilustrat în figura 10, *b*. Imaginați-vă că vă aflați pe un deal, în fața unui obstacol *B*, chiar mai sus decît acesta. Sunetul se îndreaptă pe traseele *Ca*, *Cb*, se înapoiază în *B* pe liniile *CaaC* sau *CbbC*, reflectîndu-se o dată sau de două ori pe sol.

Căutarea locului favorabil producerii unui ecou necesită o oarecare experiență. Mai întîi de toate ne vom situa la o distanță mai mare de obstacol, știind că sunetul parcurge în aer 340 m/s. Astfel la 85 m de la obstacol, va trebui să auzim ecoul exact după o jumătate de secundă, deoarece 85 m sunetul direct la obstacol + 85 m reflectarea = 170 m, deci 1/2 s.

Apoi sunetul trebuie să fie scurt și mai pronunțat pentru ca ecoul să fie clar. De pildă, se va bate din palme. Vocile cu frecvență înaltă ale femeilor și copiilor dau un ecou clar.

Amintim cît de clar se aude buciumul care răsună de pe un vîrf de deal înalt spre alte vîrfuri de dealuri, între văile munților noștri și cum le răspunde ecoul.

Dacă aveți la dispoziție un ceas se poate măsura și distanța pînă la obstacolul din față calculînd timpul răspunsului-ecou la sunetul transmis în acea

direcție, întocmai ca durata dintre fulger și auzirea tunetului, înmulțit cu 340 m/s, viteza sunetului care ne dă distanța descărcării electrice.

Iată cum putem folosi sunetul în locul ruletei, ca și cum ar măsura adîncimea fundului mărilor și oceanelor cu sonda ultrasonică. Cunoscînd viteza sunetului în apă (1 440 m/s) prin metoda ecoului se află în cîteva secunde, cu o eroare neglijabilă adîncimile apei.

Nu dorim să ne pierdem în hățișul digresiunilor, deoarece despre lumea minunată a sunetelor se pot prezenta fapte cu adevărat interesante, multe neluate în seamă, cu toate că le întîlnim la tot pasul.

Este normal că auzim cu urechile, că auzim și cu oasele craniului dar la fel de bine „aud" și dinții. Dacă se prinde între dinți un cristal piezoelectric sau miezul unui electromagnet special bobinat se vor auzi extrem de puternice și clare sunete. La fel, cristalul poate fi plasat pe frunte, pe creștet sau pe laringe (laringofon) și de asemenea vom auzi (mai slab deoarece vibrațiile sînt amortizate de piele) dar inteligibil.

Aceste telefoane „de os", „difuzoare silențioase", „perne vorbitoare" sînt bazate pe principiul osteofonic.

În sfîrșit, cîteva alte mici curiozități „sonore", privind lumea insectelor de data aceasta.

Tropăitul muștei. Poate fi auzit oare mersul muștei ? Ar fi ca și cum ar pretinde cineva că aude cum... crește iarba. Un așa record de finețe nu există decît în poveștile populare. Și totuși... un bun cristal piezoelectric, întocmai ca acel de la doza picup-ului, face posibilă auzirea mersului muștelor. Prin apăsarea cu „greutatea" ei pe un cristal ca acesta, se produc sarcini electrice, extrem de mici, care amplificate vor transmite într-un difuzor un adevărat tropăit de cal.

De altfel, cînd controlăm dacă funcționează picup-ul și atingem slab vîrful acului dozei, nu se aud zgomote puternice ? Oare cu același cristal piezoelectric, cînd este aplicat pe placa de rezonanță a unei viori, balalaici, pian sau chitară nu se întîmplă același lucru ? Despre efectul piezoelectric va mai fi vorba în această lucrare.

Zumzuitul insectelor. Cum și de ce emit unele insecte un bîzîit ? În majoritatea cazurilor ele au organe speciale pentru emiterea acestor sunete. Cele mai multe scot zumzetul prin fîlfîirea aripilor, ce pot fi considerate drept niște membrane care vibrează de cîteva sute de ori pe secundă. Ori noi știm că orice placă sau membrană care vibrează suficient de repede (peste 16 oscilații pe secundă) produce un sunet mai grav sau acut în funcție de numărul de vibrații. Țînțarul „bîzîie" cu frecvența de 12—16 kiloherți, la limita audibilității, pentru o distanță de doi metri. Puterea care pune în mișcare oscilatorie masa de aer este infimă : 5×10^{-4} ergi $= 10^{-11}$ wați.

Spre convingere, legați o riglă de desen, prin orificiul de la capăt, cu o sfoară de circa 40 cm, după care învîrtind-o circular cu brațul, veți auzi niște sunete bizare. În funcție de viteza de rotire, linia va emite o întreagă gamă de sunete. imitînd diferite efecte ale vîntului sau furtunii.

Fiecărei frecvențe îi corespunde un ton care poate fi exact stabilit cu ajutorul „lupei de timp" adică a filmării rapide. S-a constatat, astfel că musca obișnuită (care în timpul zborului emite tonul *F*) își mișcă aripioarele de 352 ori pe secundă. Albina care emite sunetul *A*, are exact tonul diapazonului (440 vibrații/s — nota la_3) cînd zboară liber și numai 330 (tonul *B*) cînd este încărcată cu polen. Țînțarii și greierii produc oscilații cu frecvența de 5 000—20 000 Hz. Comparați cu zgomotul produs de elicea avionului, care execută doar 25 rotații/s !

În încheierea curiozităților auzului și sunetului, amintim aici ceva despre auzul binaural sau stereofonic asupra căruia vom reveni în partea doua mai pe larg.

Se știe că omul poate stabili exclusiv prin auzul său din ce direcție vin undele sonore. Această capacitate a auzului seamănă întrucîtva cu vederea binoculară, spațială prin faptul că avem două urechi. Astfel știm din ce parte latră un cîine, sună un claxon sau... unde cîntă greierul.

Încercați un mic truc. Legați pe cineva la ochi, așezați-l în mijlocul camerei și luînd în mînă două monede, ciocniți-le una de alta exact în fața capului musafirului. Acesta va spune că sunetul a fost produs într-un colț al camerei, cînd în realitate dvs. vă aflați în celălalt colț.

Dacă veți părăsi planul de simetrie al capului, spre o latură, atunci urechea mai apropiată de monede va sesiza de unde vine sunetul.

De aici se poate trage o concluzie practică ! spre a determina direcția din care vine cîntecul... cucului, al greierului sau a altor sunete îndepărtate nu vă întoarceți cu fața spre sunet, ci ascultați dintr-o parte. Nu auzim cu ochii ci „ciulind urechea", cum se spune.

Am intitulat acest capitol : sunet, zgomot, muzică. A rămas deci Muzica, despre care vom prezenta cîteva generalități.

CE ESTE MUZICA ?

Colaborarea sunetului cu auzul este amplă și de neînlăturat. Această colaborare formează baza acusticii muzicale, ba chiar a întregii muzici. Cum se petrece acest fapt ?

„În ureche este o orchestră, în sunetul fiecărui instrument altă orchestră, iar pe scena de concert — altă orchestră" după cum afirmă Gleb Anfilov în „Fizica și Muzica", deoarece auzim cu centrele cerebrale, cu memoria, cu imaginația chiar în absența stimulului sonor extern.

Spre a ne da seama cît de mult sînt respectate particularitățile urechii noastre să ne gîndim la aranjamentul instrumentelor pe estradă : viorile cu glas ascuțit sînt plasate în față, iar contrabasurile cu voce gravă, mascate la urmă (fig. 11). Altfel nu s-ar mai auzi viorile pe fondul violoncelelor. Pe de altă parte

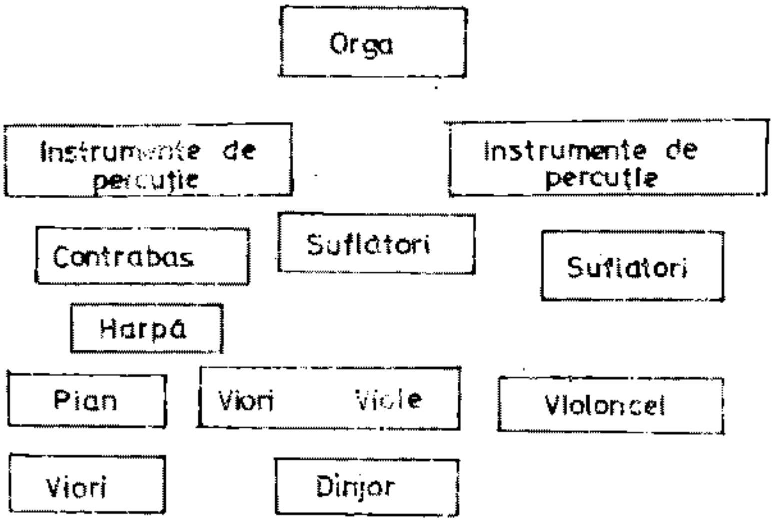


Fig. 11. Ordinea așezării instrumentelor într-o orchestră simfonică.

„tonurile fantomă" înalte, din ureche, ca și cele joase permit urechii să distingă sunetele cele mai lipsite de armonice și să analizeze sunetele pure.

Nu gratuit se spune : „tonul face muzica" terminalul mousiké — derivă de la „muză" și exprima la grecii antici un înțeles mai amplu decît cel de azi. În muzică se cuprindea cuvîntul (poezia), sunetul (muzica) și gestul (dansul), unite într-un tot indestructibil.

În tragediile antice se regăsesc toate trei : cuvînt, sunet, gest. În scenele fără dans figurau neapărat poezia și muzica. Lira era instrumentul preferat de acompaniament. Cu ea se urmărea arta declamatorie, accentuînd gradul de emotivitate al exprimării verbale. Muzica făcea parte din activitățile culturale obligatorii în manifestările publice și orice cetățean perfect educat era denumit mousikos. De muzică se ocupau nu numai teoreticienii, compozitorii, executanții dar și cei mai mulți dintre filozofi, în frunte cu matematicianul Pitagora.

Muzica poate reda, cu aceeași putere ca și a cuvîntului, evenimentele dramatice din viața oamenilor, bucuriile și suferințele lor. În multe compoziții muzica se apropie de pictură. Admirabilele manifestări ale naturii : sclipitoarea succesiune de culori, unduirea lină a valurilor mării, un măreț răsărit de soare care aurește cupolele acoperișurilor unui oraș și revărsarea treptată a luminii dimineața peste străzile și piețile orașului care se trezește.

Vedem deci că muzica are multe părți comune cu poezia, literatura, pictura, teatrul, dansul. Imaginile ei pot fi tot atît de vii și de expresive deși se folosește de alte mijloace de exprimare — nu de cuvinte, nici de culori ci de sunete.

În plus „limbajul muzical" deși nu poate să exprime concret diferitele noțiuni, cu aceeași precizie și calitate ca vorbirea, este accesibil și pe înțelesul tuturora nu numai al muzicienilor și amatorilor de muzică.

Limbajul muzical, înțelegînd prin aceasta expresivitatea muzicii, se adresează deopotrivă tuturor oamenilor, tineri sau bătrîni. Chiar copiii deosebesc îndată o muzică tristă de una veselă și nu vor confunda un cîntec de leagăn cu un marș. Totuși limbajul muzical nu poate fi deopotrivă de clar pentru toți, trebuie s-o recunoaștem. Cauzele sînt desigur de ordin educativ și psihologic.

Tot la fel de clar este că un aparat auditiv normal și educat muzical, poate distinge circa 1 450 de sunete în domeniul audibil și în medie 325 grade de tărie ale aceluiași sunet.

Aceste calități și deficiențe se asociază deci cu elemente de ordin psihologic. Oricine își poate perfecționa auzul muzical prin atenție, voință și studiu.

Cum acționează muzica asupra întregului organism uman ? Iată o întrebare ce se referă nu la acțiunea ultrasunetelor, care au un specific biologic direct, distrugînd celulele sau bacteriile și microbii, ci la acțiunea sunetelor audibile.

Se știe că auzul omenesc este legat indisolubil de creier, care dirijează întreg organismul asupra căruia muzica are și o importanță fiziologică colosală.

Muzica, se știe de mult că poate veni în ajutorul muncii sau o poate stînjeni, că poate provoca senzația de durere fizică sau, dimpotrivă, poate servi ca mijloc de anestezie. În cazul lucrărilor dentare se pun la urechile pacienților căști telefonice, prin care se transmite de la un magnetofon o anumită muzică sau zgomot și aceștia suportă mai ușor operațiile chinuitoare cunoscute de toți. Cu cît durerea e mai mare, cu atît se amplifică muzica.

Despre legătura dintre muzică și medicină, care astăzi a devenit mijloc terapeutic, controlat pe baze științifice, se poate vorbi mult. Metoda terapiei bolilor prin muzică (se spune că ea amorțește durerea) este cunoscută din antichitate și din evul mediu, cînd se încerca vindecarea anumitor bolnavi cu ajutorul sunetelor. Nu știm în ce măsură reușeau. Cert este că muzica are influență chiar și asupra plantelor și animalelor.

Există pînă în prezent vreo 15 teorii asupra colaborării dintre auz și muzică, ceea ce este un fapt incontestabil și suficient pentru studiul nostru.

Capitolul III

Ora de muzică

Vă propunem, după scurtele considerații abstracte anterioare, să facem și o lecție de muzică, pentru a ne însuși cîteva noțiuni de bază privitoare la materialitatea muzicală. Se vor dovedi folositoare în capitolele următoare, la construcția și încercarea montajelor electroacustice de care ne vom ocupa. De altfel scurta recapitulare a unor definiții și a înțelesului unor termeni și expresii este utilă în expunerea care urmează.

De pildă poți cînta la un instrument fără să-i cunoști istoria lui sau să cînți „după ureche" fără să ai cunoștințe de sistemul notației muzicale etc., dar altfel sînt privite lucrurile cînd îi cunoaștem începuturile cît și conținutul exterior al artei sunetelor.

MATERIALUL SONOR MUZICAL

Orice melodie vocală sau instrumentală, intonată de un om sau de un instrument este formată dintr-un lanț, complet și variat de sunete care au caracteristicile amintite : înălțime, durată, tărie, timbru.

Aranjarea materialului sonor într-o scară a înălțimilor, astfel ca fiecare sunet muzical să ocupe un loc precis, de la cel mai grav, pînă la cel mai acut, a necesitat o perioadă de peste două milenii. Astăzi pentru scrierea muzicii se folosesc notele și portativul dar n-a fost așa la început.

Grecii antici întrebuințau pentru notația melodiilor pe care se cînta o poezie, litere din alfabet. Notația cu litere a durat pînă în Evul Mediu. Era incomodă și îi lipsea plasticitatea, cauză pentru care practic se folosea în mică măsură.

Compoziția muzicală se transmitea oral de la un muzician la altul și se învăța după ureche. Prin ridicarea mîinii conducătorul corului „desena" sunetul în aer, indicînd că melodia „urca" sau dimpotrivă „cobora" adică,

înălţimea. Cît priveşte ritmul, (durata, tăria, timbrul) n-avea cum să fie exprimat.

În căutarea unei metode de notaţie a calităţii sunetelor s-a ajuns la notaţii mai plastice pe motive muzicale cu „steguleţe", „cîrlige" şi „neume". Cu acest fel de semne nu se putea descifra o melodie nouă, ci cel mult le amintea cîntăreţilor o melodie cunoscută.

Invenţia notaţiei precise a înălţimii sunetelor, cu portative şi chei datează din secolul XI şi i se atribuie de către teoreticienii muzicali, călugărului benedictin Guido din oraşul Arezzo (999–1050). Acesta a propus o „tetragramă" şi nu „pentagramă", portativul actual cu 5 linii şi 4 „spaţii" (fig. 12). Cu toate acestea Guido d'Arezzo marchează cel mai semnificativ moment din istoria muzicii.

Fig. 12. Portativul (pentagrama).

Invenţia monahului Guido a apărut muzicienilor medievali ca o adevărată minune mai ales că tot el a dat şi denumirea notelor muzicale.

La cele patru linii s-a mai adăugat a cincea linie şi alte linii „suplimentare", cum vom vedea.

Numărul prea mare de linii suplimentare ar îngreuna cititul notelor. De aceea întotdeauna la începutul portativului se scrie un anumit semn, aşa-zisa *cheie*, care stabileşte semnificaţia unei anumite linii şi deci şi a celorlalte. Cheile utilizate în muzică sînt cheia sol, fa şi do.

În figura 13, *a* figurează cele două chei mai des utilizate : cheia sol şi cheie fa.

Rămîne să plasăm pe linii şi spaţii cele şapte note denumite de Guido aşa cum le ştim toţi.

De fapt, numele do, re, mi, fa, sol, la, si, nu înseamnă nimic. Ele sînt luate după prima silabă, a fiecărui rînd, a unui anumit imn bisericesc, care conţinea şapte versuri în limba latină, recitate de cei ce învăţau să cînte, cu multe secole în urmă. Prima silabă a fiecărui rînd trezea în mintea cîntăreţului sunetul cu care începea versul. Numai că pe timpul Evului Mediu nota „*do*" se numea „*ut*".

O poveste bine ticluită, privind denumirea notelor gamei spune că... un rege avea doi fii şi nu ştia căruia să-i lase regatul. A hotărît ca acela dintre ei care va zări primul soarele în dimineaţa următoare avea să devină rege. Unul din fraţi mai leneş a adormit greu şi nu s-a trezit, dar celălalt se trezise la răsăritul soarelui şi aleargă în grabă la tatăl său strigîndu-i : „Do, re, mi fa ! Sol, la !" la care regele răspunse : „Si".

Cuvintele sînt în limba italiană şi traduse ar fi astfel : „Do" numele regelui, de la „Dominus" ; re = rege ; mi, fa = fă-mă ; sol la = soarele acolo (iată soarele !) ; recapitulînd : Doamne fă-mă rege ; iată soarele. La care regele a răspuns „Si" = da !

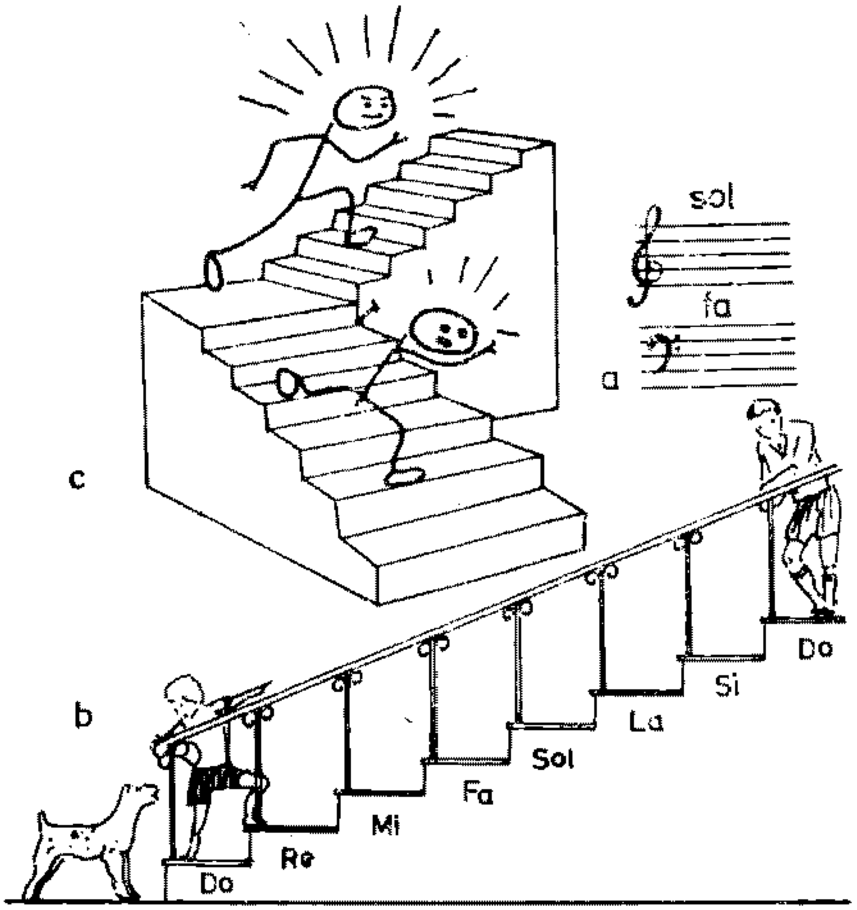


Fig. 13. Scara muzicală și intervalele: *a* — cheia sol și fa: *b* — gama: *c* — octavele.

Am făcut cunoștință cu portativul, cu cele șapte note, cu cheile sol și fa și acum privind figura 13, *b* vedem că notele se înșiră, urcînd pe o „scară" care se aseamănă cu cea a portativului. Dacă privim figura 6, se observă că aceleași note se repetă de 8 ori la claviatura pianului și că fiecare sunet reapare în alt interval, cu altă frecvență, raportul între înălțime și frecvență rămînînd neschimbat.

Diferitele tipuri de *scări octaviante* împart spațiul octavei în cele mai variate forme.

Indienii împart octava în 21 de trepte, arabii în 17 trepte, chinezii folosesc 5 sunete (pentatonic).

Pitagora, matematician, filozof și muzician a dat o sugestie: *registrul muzical* să fie împărțit în *octave* și fiecare octavă în 12 trepte mici, fapt care a servit apoi drept baza întregii culturi muzicale europene, astfel încît prin *temperare*, în secolul XVIII s-a adoptat această idee.

Tot Pitagora a scris, pe baza unor experiențe de vibrație a coardelor despre raportul de cvintă perfectă (armonică).

Succesiunea intervalelor în ordinea frecvenței notelor se numește *gamă*. Un cîntec privind gama este redat în figura 14.

Două sunete muzicale la interval de octavă au aceeași denumire. Sunetul superior este reapariția în alt registru a sunetului fundamental. În figura 13, *c* este comparată octava cu etajul unei clădiri. Sunetele trec și urcă sau coboară dintr-un etaj la altul. Aceasta este *scara lui Pitagora* cu 12 cvinte și 7 octave la instrumentele cu claviatură.

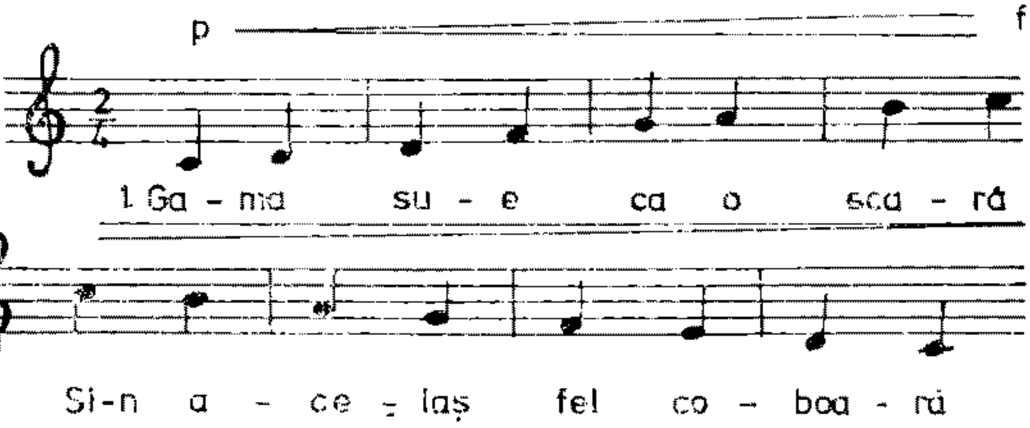


Fig. 14. Cîntec despre gama muzicală.

S-a încercat, și se mai lucrează și azi, să se corecteze scara lui Pitagora. Cu această problemă s-a ocupat chiar astronomul Kepler, matematicianul Euler, dar cel care a reușit, a fost organistul Werkmeister (sec. XVII-lea), dînd la iveală un fel de „centimetru muzical" denumit *semiton*. Din semitonuri s-a alcătuit scara muzicală temperată uniform, cu 12 intervale, adoptată astăzi pretutindeni. Pianele, orgile și acordeoanele (avînd note fixe), sînt acordate după această scară.

Este de notat că Haendel n-a acceptat inovația, în schimb Bach a fost primul mare muzician care a recunoscut fără rezerve, valoarea temperării uniforme. A și intitulat una din culegerile de piese ale sale „Pianul bine temperat" (fără note false neașteptate), adică cu sunete exacte conform notației muzicale.

Și astăzi unii muzicologi susțin că scara uniform temperată cu 12 trepte nu mai are nevoie de nici o îmbunătățire iar alții susțin că aceasta ar limita dezvoltarea artei muzicale. Primii zic, că atunci pianul ar trebui să aibă nu 88 de clape ci 1 000, ceilalți aduc argumentul violoniștilor, care nu cîntă pe clape și tastiere, ci alunecă „liber" pe coarde și pot realiza acorduri naturale de o mare frumusețe inaccesibile pianului și orgii.

Portativul (pentagrama muzicală) poate fi considerat ca un grafic de înălțimi pe care pot fi transpuse toate sunetele scării muzicale complete, în număr de 109, adică 9 octave × 12 semitonuri, ultimul „*do*" al orgii mari.

Aceasta în cazul instrumentelor cu sunet fix (pian, orgă, harpă, armonică, acordeon, xilofon, țiteră electrică etc.). La aceste instrumente fiecare octavă este împărțită în 12 semitonuri. Amintim că din întregul domeniu al sunetelor utilizate în muzică (vocală și instrumentală), aparatul auditiv uman percepe distinct 1 450 de sunete (nu doar cele 109 de la instrumentele cu sunet fix, deci abia 8% din cele 1 450 de sunete) cuprinse între *„do"* = 16,35 Hz pînă la *„do"* = 8 372 Hz.

Un domeniu atît de întins de sunete este posibil să fie atins de o ureche cu un rafinat simț muzical și nu este exclus ca într-un oarecare viitor, octava să fie împărțită nu în 12 semitonuri ci în 24 sferturi de ton sau chiar în mai multe trepte. Între scara temperată cu 12 semitonuri și scara naturală cu și mai multe trepte se dă o luptă în care știința și muzica trebuie să colaboreze.

Un calcul simplu ne va convinge că membrana bazilară din melcul urechii, care conține 24 000 de fibre ar putea vibra pentru o frecvență (sunet) cu 24 000 : 1 450 = 16 fibre și ar avea capacitatea de a distinge sunetele de frecvențe și intensități mereu și fin variabile, cum se probează și practic, prin foșnetul frunzelor, murmurul izvoarelor, vîjîitul vîntului, zgomotul orașelor sau tunetul descărcărilor electrice. Organul auditiv al unui bun acordor de pian trebuie să posede această finețe.

Spre a exemplifica disponibilitățile unui auz perfect, reproducem un pasaj dintr-un prospect redactat de Leopold Mozart, ce anunța concertul celor doi „copii minune" ai săi dat la Frankfurt (1763) : „În acest concert vor apărea fetița de doisprezece ani și micul băiețaș de șapte ani (Amadeus Mozart).

Nu numai că amîndoi vor executa concerte la clavecin și la pian și fetița va cînta bucățile cele mai grele ale celor mai mari maeștri ; dar afară de aceasta băiețelul va executa un concert la vioară ; va acompania la pian simfoniile ; claviatura (sau „tastatura") pianului va fi acoperită cu o pînză și, prin această pînză va cînta la fel de bine ca și cînd ar avea clapele în fața ochilor. De asemenea, va recunoaște fără cea mai mică greșeală, de la distanță, toate sunetele ce vor fi emise, singure sau în acorduri, la un pian sau la orice alt instrument imaginabil, inclusiv clopotele, paharele, cutiile muzicale etc.".

Așa-numitul, prag diferențial de înălțime crește spre extremitatea sunetelor grave (50 Hz) precum și de la frecvența de 3 000 Hz în sus spre octava extremă. Pentru notarea diatonică a înălțimii tuturor sunetelor, portativul ar fi un grafic convențional perfect, dacă nu ar exista și semnele de alterație, *diezul* și *bemolul*, care ne arată că un sunet a fost urcat sau coborît cu un semiton, cu dubla lor semnificație sonoră și grafică. Lucrurile se complică și mai mult cînd apare un *„dublu diez"* sau *„dublu bemol"*.

De asemenea pentru determinarea poziției notei luate ca reper, se întrebuințează semnele numite *„chei"*, folosite încă din evul mediu.

Această varietate de notații este greu de urmărit pe o partitură de amatorii de muzică și nu le detaliem, mulțumindu-ne doar cu definiția lor cît mai simplă

spre a nu îngreuna lectura. Spre a vă amuza de un caz autentic redăm un dialog „muzical" la care a asistat un muzicolog :

— Există o greşeală, spune dirijorul cornistului : trebuie să cîntaţi un „*do diez* şi nu *do natural*. Adică, în cazul dumneavoastră, *sol diez* în loc de *sol natural*.

— Pardon, domnule, răspunse cornistul. Partitura mea e în *mi bemol ;* deci am un *la*.

— Perfect, zice dirijorul. În acest caz puneţi un *si bemol*.

— Nimic mai simplu conchide cornistul. În locul lui *la*, scris în *mi bemol*, pe care, citind în *re* îl înţelegem ca *sol ;* pentru a face din el un *do*, citind în *fa*, voi pune un *si bemol* pe care îl voi citi *la bemol*, pentru a înţelege *re bemol enarmonic* cu *do diez*, iar *la bemol* îl voi citi scris *si bemol*, îi va corespunde fireşte lui *sol diez* pentru a trebui să-l citesc, pentru a obţine *do diez* pe care mi-l cereţi..." (Chailley — 40 000 de ani de muzică).

Ce simplu şi clar !! NU ?

Cu toate acestea sistemul este considerat perfect, astfel că numeroasele încercări de a-l simplifica cu unul mai... raţional nu au fost acceptate. Unde mai punem că muzica de avangardă are în uz şi alte elemente decît sunetele muzicale clasice, ceea ce complică şi mai mult lucrurile.

Noi ne propunem doar explicarea sumară a caracteristicilor sunetului care au o corespondenţă exactă în acel capitol al fizicii — electroacustica.

Recunoaştem că la început muzica se făcea din instinct, fără ajutorul vreunei ştiinţe, întocmai cum literatura populară a apărut fără teoria literară, dar cu timpul în arta muzicală au fost descoperite pe baza practicii şi reguli teoretice, rezultînd o nouă ştiinţă — muzicologia.

Astfel, organizarea materialului sonor muzical pe o scară a înălţimilor, folosind portativul, deşi este un sistem destul de complicat, el devine ideal pentru lectura unei piese muzicale. Cu toate acestea, pentru a indica rapid poziţia unui sunet oarecare cît şi frecvenţa lui există şi alte modalităţi, dintre care cea mai utilizată constă în a se atribui fiecărei note un semn distinctiv (indice sau exponent) : octavele sînt notate cu litera „O", cînd simplă, cînd cu indici şi cu exponenţi.

Aceasta este unul din sistemele de notare fără portativ a octavelor şi a sunetelor, folosit şi în ţara noastră. Alte ţări au preluat sistemul cu veche tradiţie a muzicologiei germane — uneori puţin modificat, dar fără a-l face mai uşor inteligibil (de pildă octava VII — Ut_7 ; „do_5").

„Negăsindu-se un răspuns satisfăcător la întrebările : de ce un acelaşi sunet din scara muzicală, de exemplu primul, să fie notat în atîtea moduri ? de ce atîtea denumiri diferite a octavelor ?" întreabă dr. ing. Dem. Urmă muzician şi autorul documentatei lucrări ştiinţifice „ACUSTICA ŞI MUZICA" (Editura Ştiinţifică şi Enciclopedică — 1982) şi propune „un sistem care să fie în acelaşi timp şi raţional şi simplu" (pag. 67). Aceasta a for-

mat comunicarea prezentată la cel de-al XVI-lea Congres Internaţional de Istorie a Ştiinţei (Bucureşti 1981).

„Raţiunea se bazează pe considerentul că — scara sunetelor muzicale fiind una singură pentru muzicieni şi acusticieni şi avînd un singur şi acelaşi început — este logic ca prima ei octavă să poarte numărul 1, iar sunetele respective să poarte acest număr, scris, de exemplu, ca indice. De asemenea, este logic ca octavele scării muzicale să fie notate şi denumite O_1, O_2 . . . O_9. Simplitatea constă în faptul că, adoptînd aceste principii, întreaga scară muzicală este determinată, ipso-facto, ca denumiri şi notaţii. Seria bazelor octavelor va fi deci do_1, do_2 . . . do_9, iar ultimul sunet al scării va fi d_{10}. Octava centrală (adică octava 1 după vechiul sistem n.n. fig. 6) a scării va fi deci desemnată prin numărul 5 (O_5), număr cu care va fi indexat şi sunetul fix de referinţă la_5 = 440 Hz. Tastierea demonstrativă reprezentată pe figura 133 concretizează ideile expuse şi cuprinde toate cele 109 sunete din tabela 10, b".

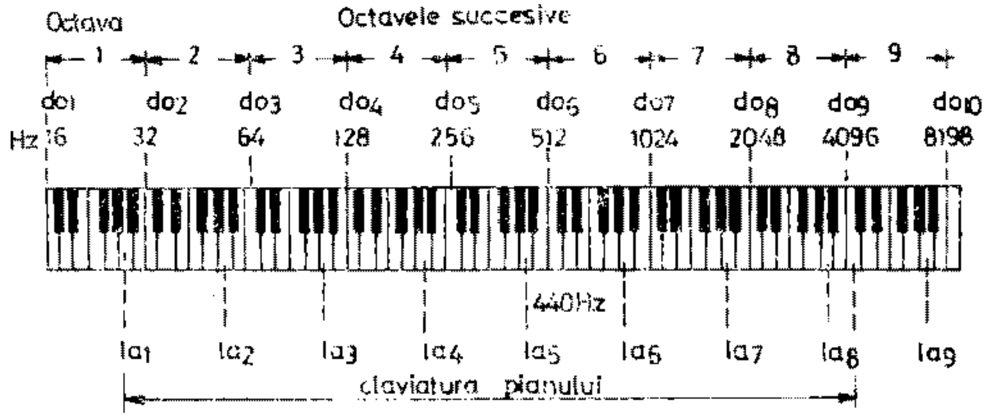


Fig. 15. Claviatura pianului sau a orgii indică scara logaritmică a frecvenţelor sunetelor corespunzător clapelor şi octavelor.

Reproducem şi noi figura 133 din cartea sus amintită cu claviatura pianului şi a orgii, cu scara logaritmică a frecvenţei sunetelor corespunzătoare clapelor octavelor în figura 15, pe care comparînd-o cu figura 6, se pot observa diferenţele dintre notarea veche şi cea nouă. Raportul între două octave este egal cu 2. De pildă la_5/la_4 = 440/220 = 2 etc.

Succesiunea intervalelor în ordinea frecvenţei notelor se numeşte *gamă*. Gama care începe cu sunetul „*do*" de jos, şi se termină cu sunetul „*do*" de sus se numeşte gama lui *Do major*.

Gama *Sol major* se formează pe tonica *sol* şi se recunoaşte prin faptul că are pe armură *fa diez* şi nota finală este de obicei tonică (sol). Gama *fa major* se formează pe tonica *fa*, respectînd modul major — ton, ton, semiton, ton, ton, ton, semiton. În muzică se folosesc şi moduri minore (la, mi şi re minor).

În acustică subdiviziunile octavei pentru a măsura cele mai mici diferenţe dintre sunete sînt : coma, savartul şi centisunetul. O octavă are 301 savarţi =

= 1 200 cenți. Coma are 5 savarți. Prin temperare, se ia un ton = 100 centi și un semiton = 50 centi.

S-au menționat pînă aici lucrurile esențiale în ceea ce privește înălțimea sunetelor, portativul, cheile sol și fa, de citirea notelor, cîte ceva despre modurile majore și minore și în încheierea paragrafului recomandăm a conspecta figura 16, în care este prezentată claviatura pianului, în dreptul octavei 4 și octavei 5 (octava centrală sau octava 1) în care se află nota *la* = 440 Hz (dia-

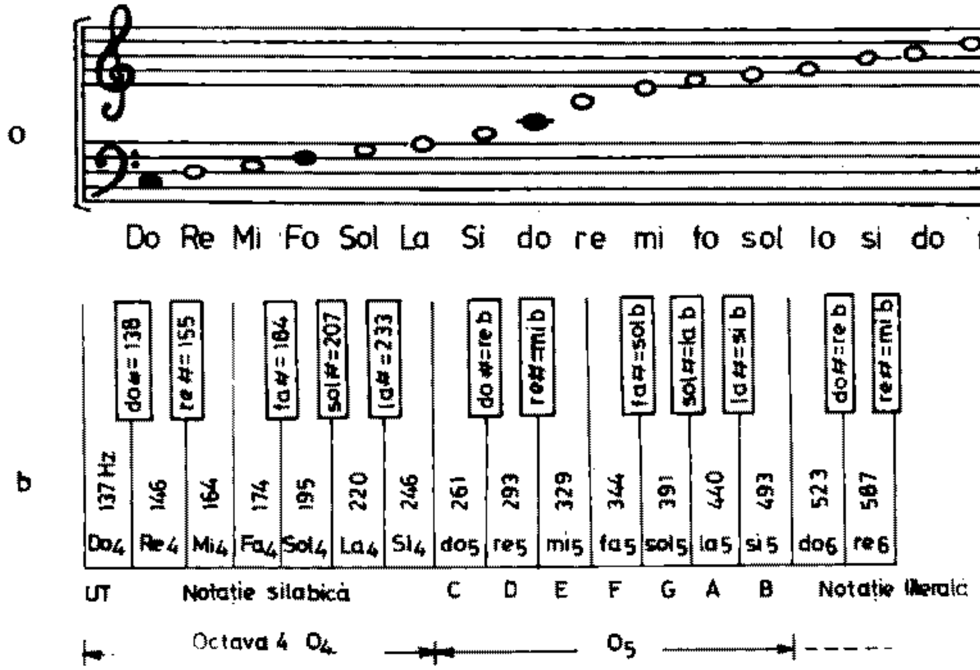


Fig. 16. Portativul general cu octava 4-a și octava 5-a : *a* — notele corespondente în cheia sol și fa ; *b* — claviatura pianului cu O_4 și O_5, semnele de alterație (diezi, bemoli) și frecvențele sunetelor respective.

pazonul). Avînd sus portativul cu cele două game în cheia de sol și alta în cheia de fa, începătorii pot remarca ușor corespondența notelor, frecvența lor, noțiunea de octavă, diez, bemol și frecvențele notelor cu alterații (fig. 16, b).

Totodată se specifică și notația silabică a notelor (do, re, mi, fa, sol, la, si adoptată în țările latine, precum și notația literelor corespunzătoare (C, D, E, F, G, A, B), adoptate în Germania, Anglia, S.U.A.

Dar nu numai sunetele unei melodii trebuie notate ci și ritmul. Mijloacele de notare au fost descoperite încă din secolul al XII-lea. De atunci s-au mai perfecționat, dar nu în esența lor.

Durata sunetelor se arată în scris, prin diferite valori de note (fig. 17). Prin durată înțelegem proprietatea sunetului muzical de a fi mai lung sau mai scurt. Aceasta se măsoară cu timpul sau „bătaia".

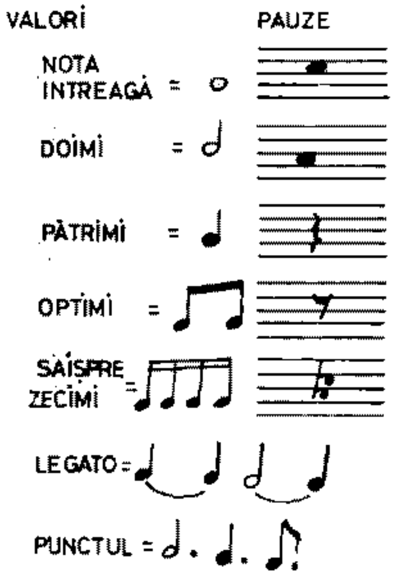


Fig. 17. Durata sunetelor muzicale.

Toate valorile de note au o durată relativă, deoarece durata nu depinde de timpul concret pe care îl reprezintă fiecare notă, aşa încît *secunda* din electroacustică nu poate fi o unitate de măsură şi în muzică. Timpul depinde de raportul unei valori faţă de alta, după dorinţa compozitorului sau a interpreţilor. Tempo-ul, aspectul metric cît şi genul mişcării determină de fapt durata fiecărui sunet. În acest scop, pentru arta muzicală a fost construit *metronomul* (Metron = măsură şi nomos = regulă), care marchează primul timp al măsurii. Este un instrument care serveşte mai mult pe elevi sau compozitori amatori, şi este „inutil celui care posedă un adevărat simţ muzical".

În tabelul 2 sînt redaţi termenii de mişcări sau tempouri muzicale.

Orientativ dacă se indică tempoul de 60 pătrimi pe minut, atunci o pătrime = 1 secundă ; optimea = 1/2 s (două optimi) ; şaisprezecimea = 1/4 s (patru şaisprezecimi) ; doimea = 2 s (două pătrimi) ; nota întreagă 4 s (4 pătrimi).

Tabelul 2

Termen de mişcare (Tempouri muzicale)

Mişcări rare	Mişcări potrivite	Mişcări repezi	Termen de expresie
Largo — rar de tot	Andante — fără grabă	Allegro — repede	Scherzando — glumind
Grave — greoi	Adantino — ceva mai repede	Vivace — vioi	Con brio — cu strălucire
Lento — liniştit	Moderato — potrivit	Presto — foarte repede	Marciale — în tempo de marş
Adagio — rar	Allegretto — repejor	Accelerando — iuţind	Con anima — cu însufleţire
Larghetto — mai puţin rar	Sostenuto — mişcat	Piu mosso — mai mişcat	Affectuoso — cu căldură
Alte expresii	Molto — foarte	Assai — destul de	Non tropo — nu prea

Ştim că pătrimea durează o „bătaie" (un timp). În măsura 3/4 înseamnă că vor fi trei bătăi iar în măsura 4/4 vor fi patru bătăi.

Dintre cele patru caracteristici ale sunetelor, *înălţimea, durata, timbrul* şi *intensitatea*, primele două sînt esenţiale, înălţimea şi durata. Pentru a percepe distinct înălţimea unui sunet, el trebuie să aibă o anumită durată. De exemplu : un sunet de 100 Hz trebuie să impresioneze urechea cel puţin 0,025 s ; unul de 400 Hz cel puţin 0,010 s ; la 3 000 Hz cel puţin 0,002 s.

Se observă că pentru a avea o senzaţie de înălţime distinctă, urechea trebuie să fie impresionată un timp mai lung de sunetele grave decît de cele acute. Durata trebuie sporită dacă dorim să sesizăm şi timbrul.

În afară de aceasta, cu cît frecvenţa este mai mare, cu atît sînt necesare mai multe oscilaţii pentru a distinge înălţimea sunetului.

În încheiere, menţionăm că mai există şi alte caracteristici ale sunetului în afară de cele descrise pînă aici, pe care le vom enumera în trecere : culoarea (nu totuna cu timbrul), volumul, penetranţa (sau strălucirea), densitatea (după materialul din care e făcut instrumentul. De exemplu sunetele flautului se pierd mai încet decît cele mult mai puternice ale trompetei. Dar de aceste calităţi ale sunetului se ocupă acusticienii, muzicologii, specialiştii etc.

FAMILIA INSTRUMENTELOR MUZICALE

Vom vorbi despre cîte feluri de instrumente muzicale există şi de ce sînt atît de numeroase. Ce este orchestra ? Ce a determinat apariţia celor mai variate surse instrumentale de producere a sunetelor muzicale ? Ne vom ocupa în special de instrumentele mai caracteristice căutînd să le încadrăm într-o scurtă prezentare sistematică pe grupe. Datorită faptului că noţiunea de „instrument muzical" este atît de largă, o definiţie ar fi hazardată.

Să presupunem că ne aflăm într-o sală unde se dă un concert simfonic la care iau parte peste o sută de instrumentişti şi fiecare face acordarea instrumentului său. Privim peste tot ansamblul şi numărăm : 16 viori prime şi 16 viori secunde, total 32 ; 12 viole, 12 violoncele (cello), 8 contrabasuri, adică un total de 64 de instrumente cu coarde. Apoi instrumentele de suflat din lemn : 4 flaute, 4 clarinete, 4 fagoturi, în total deci alte 12 ; urmează alămurile : sînt 8 corni, 6 trompete, 3 tromboane, o tobă, adică încă 18 ; se adaugă 2 harfe, 3 tobe. În total 103. O adevărată familie numeroasă.

Dar orchestrele n-au fost şi nu sînt întotdeauna aşa de dezvoltate. Acum două secole, o orchestră care număra 20 de instrumente, putea fi socotită ca un ansamblu de excepţie.

Astăzi chiar formaţiile de muzică populară, nu numai cele de muzică uşoară, includ cîteva zeci de instrumentişti, care cîntă şi la alte instrumente decît cele specifice orchestrelor simfonice.

Dar am folosit cuvîntul „familie". În cadrul orchestrei ca și în viață, acest termen desemnează, diferite grupuri, în cazul de aici, de instrumente, care se înrudesc între ele.

Astfel „familia suflătorilor" are în compunere două ramuri: aceea a „suflătorilor de lemn" și cea a „alămurilor" (clarinet, oboi, fagot, și respectiv corn, trombon, trompetă, tubă, flaut, piculină). Pe podiumul de concert toate aceste instrumente se așează unul lîngă altul, formînd o adevărată familie ca în figura 11.

Să ne imaginăm un compozitor care după ce a scris melodia, se vede în fața a 107 instrumente, cît are o orchestră modernă, să aleagă instrumentul cu care va trebui să cînte acel pasaj; hotărîre destul de grea de luat dacă ne gîndim la faptul că trebuie să țină seama și de momentul în care respectivul instrument trebuie să „intre".

De exemplu, dacă melodia este diafană, compozitorul va recurge la sunetul viorii sau la cel delicat al flautului.

Dacă melodia este solemnă vor predomina „alămurile" (trombon, corn, tubă) la care se adaugă timpanii (tobele).

Pentru un pasaj melancolic, se apelează la sunetul violei, iar dacă dorește să descrie un răsărit de soare, va folosi oboiul cu timbrul său pătrunzător.

Clasificarea instrumentelor muzicale este o problemă la fel de dificilă, dat fiind numărul lor mare cît și varietatea construcției și principiului lor de funcționare. Știința instrumentelor muzicale denumită *organologie*, care se ocupă de orice aparat capabil să emită mesaje sonore, incluzînd sfera noțiunii de instrument muzical, în afară de cele clasice (vechi sau noi) și generatoarele de sunete și zgomote.

Etnomuzicologii au propus un sistem de clasificare bazat pe criterii fizico-acustice, luînd în considerație elementul vibrator cît și modul de punere în vibrație. Acesta privește atît instrumentele ieșite din uz cît și pe cele utilizate în muzica populară.

În prezent clasificarea în discuție diferă în lucrările de specialitate, în raport cu criteriul adoptat de autorul lor. Astfel în lucrarea „Acustică și muzică" (autor Dem. Urmă) se prezintă un tabel cuprinzînd o clasificare detaliată, după modul de punere în vibrație, care redă în mod sistematic și logic o clară privire de ansamblu, împărțirea în următoarele cinci clase;

— *instrumente idiofonice* (autofonice), al căror sunet este produs de vibrațiile propriului lor corp (talgere, cinele, castaniete, crotale, trianglu, gong, clopote, sistru, xilofon, vibrofon, Marimba, celesta, carillon, clopoței, trișcă-morișcă, fierăstrău, drîmbă etc.);

— *instrumente membranofonice* la care sunetul este creat de membrane, prin percuție cu baghete sau altfel (timpan, tobă mare, tobă mică, tambur militar, tamburină bască);

— *instrumente aerofonice*, în care vibrează coloane de aer (flaut, fluer, nai, ocarină, clarinet, saxofon, vocea umană, oboi, corn englez, fagot, diaulos,

zurnă, corn, trompetă, goarnă, trombon, tubă, flicorn, orgă, armoniu, acordeon, cimpoi etc.) ;

— *instrumente cordofonice*, al căror sunet este produs de coarde rigidizate prin întindere (prin coarde ciupite — clavecin, spinetă, harpă, liră, chitară, mandolină, balalaică, banjou, cobză, țiteră, lăută) ; (prin arcuș — vioară, violă, violoncel, contrabas, vielă, gigă) ; (prin coarde lovite — pian, pianină, autopian, țambal, clavicord etc.).

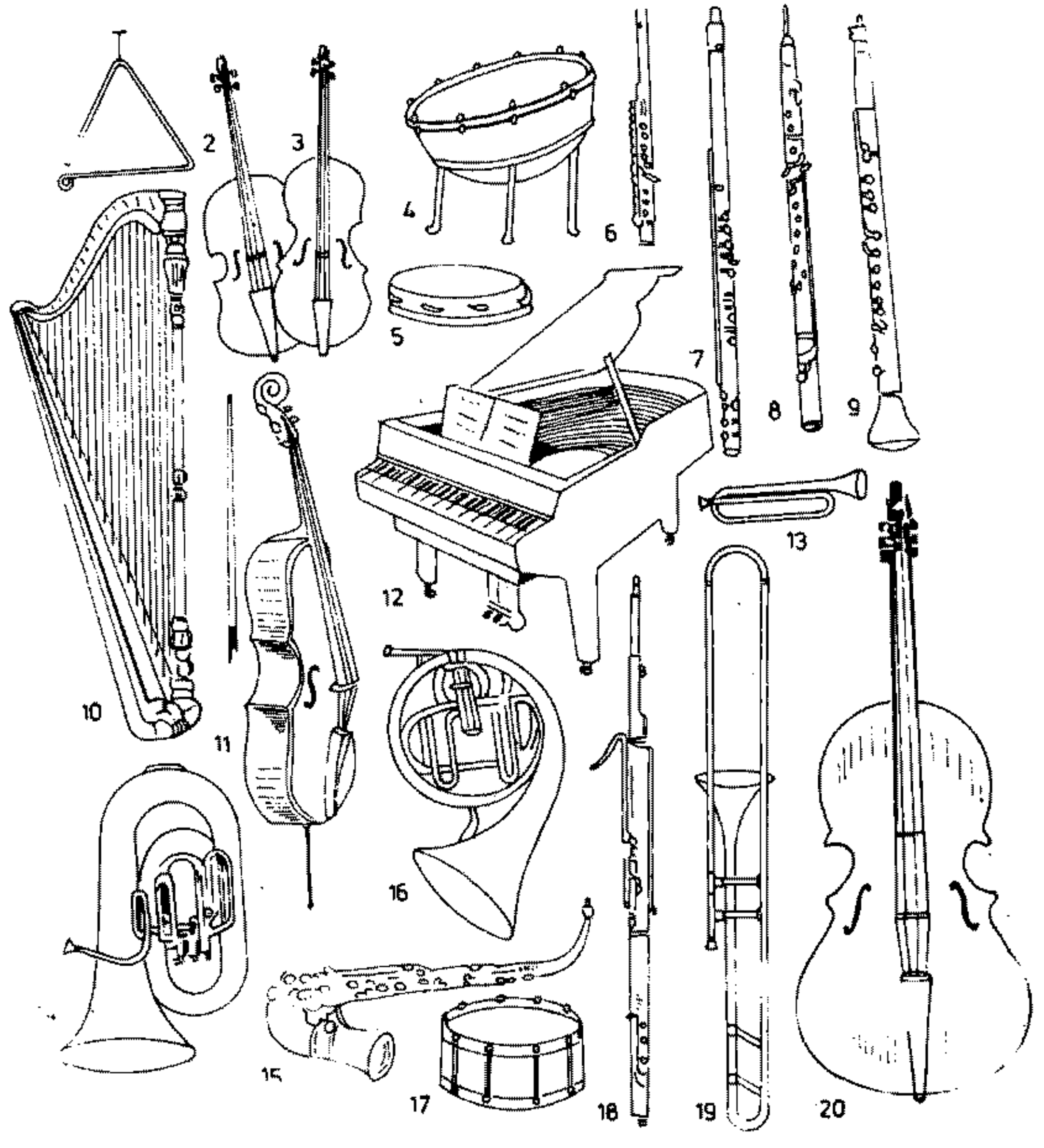


Fig. 18. Principalele instrumente muzicale ale unei orchestre moderne : *1*. Trianglu ; *2*. Violă ; *3*. Violină ; *4*. Timpanul ; *5*. Toba mică ; *6*. Picola ; *7*. Flautul ; *8*. Oboiul ; *9*. Clarinetul ; *10*. Harpa ; *11*. Violoncelul ; *12*. Pianul ; *13*. Trompeta ; *14*. Tuba ; *15*. Saxofonul ; *16*. Cornul ; *17*. Tambur ; *18*. Fagotul ; *19*. Trombonul ; *20* Contrabasul

O altă clasificare mai simplă împarte instrumentele pe grupe, după modul de producere a sunetului în :

— *instrumente de coarde cu arcuș* (vioara, viola, violoncelul, contrabasul etc.) ;

— *instrumente de coarde lovite sau ciupite* (pianul, harpa, clavecinul, chitara, țambalul, banjoul, cobza etc.) ;

— *instrumente de suflat* (flautul, oboiul, cornul englez, clarinetul, fagotul, saxofonul, tuba, trompeta) ;

— *instrumente de percuție* (timpanele, toba mare și mică, tamburina etc.) ;

— *instrumente de percuție cu plăci de metal sau de lemn* (xilofonul, castanietele, marimba, clopote, trianglu).

În figura 18 sînt redate o parte dintre cele mai utilizate și cunoscute instrumente muzicale pentru muzică clasică și populară, spre recunoașterea lor. Ca o completare a celor de mai sus, trebuie să amintim că intenționat au fost lăsate separat o mare grupă de instrumente, care uneori colorează, uneori concurează cu cele prezentate pînă aici. Să le prezentăm deci :

INSTRUMENTELE ELECTROFONICE (ELECTROACUSTICE)

Pentru a reliefa importanța și deosebita valoare, ca și potențialul expresiv al numeroaselor instrumente muzicale electrofonice aducem în discuție o piesă muzicală cunoscută : Bolero-ul compus de Ravel, inspirat fiind de cîntecul îmblînzitorului de cobre.

Pe fundalul ritmic, susținut de tobe, se aude la început cunoscuta melodie, intonată de flaut. Aceeași melodie este reluată mai plin, de clarinet, după care urmează fagotul... Melodia rămîne mereu aceeași, densitatea constituind-o numai combinația instrumentelor, care va culmina cu intonarea temei de către întreaga orchestră.

Oare putem să ne imaginăm cum ar suna această muzică din final, cîntată de un singur instrument ? Ar suna la fel de frumos, chiar mai colorat, cîntat de un singur instrument electronic sintetizator.

Dacă ne gîndim la cuceririle electronicii, ea și-a spus cuvîntul și în arta muzicală. Instrumentele electrofonice nu cîntă numai ci și imită aproape orice sunet natural.

Principiul unui instrument electroacustic constă în generarea de oscilații de natură electrică (spre deosebire de oscilațiile mecanice). Oscilațiile sînt apoi transformate, amplificate și redate de difuzoare, unde se prefac în vibrații acustice ale aerului.

Obținerea sunetelor electrice, deși mai complicată decît cea de natură mecanică, tradițională este compensată însă printr-o mare varietate a posibilităților „vocii" electrice, pe care realizatorii clarvăzători le-au întrezărit cu cîteva decenii în urmă.

Clasificarea instrumentelor electronice după clasa, felul sunetelor și modul de emisie al sunetelor

Clasa	Modul de punere în valoare	Denumirea principalelor tipuri
I. Instrumente electrofonice (electroacustice, electromuzicale)	Prin oscilatoare electronice	Unde Martenot, trautoniu, novacord, orgă electronică, pian electric, claviolina
	Prin generatoare magnetoelectrice	Orga Hamond
	Prin dispozitive aptoelectronice	Orgă fotoelectrică, sintetizatoare (RCA, Moog, ANS), Organova
	Prin vibrator tradițional + traductor, amplificator și difuzor	Orice instrument tradițional electrificat (chitară, banjo, mandolină, vioară, violoncel, armoniu, pian)

	Felul sunetelor	Instrumente aerofonice	Instrumente cordofonice	Instrumente idiofonice (autofonice = sunet propriu)
II.	Variabile		Vioară, violoncel, chitară, banjo, mandolină, electrice	Chancenote, sonerie electrică, gong, vibrafon, drîmbă, electrice
	Fixe	armonici	Țitera electrică, cembal Hohner	Carillon electric, clopote electrice, Martin

	Modul de emisie a sunetelor	Instrumente tradiționale electrificate	Instrumente electronice schelet (cu sunete generate de oscilatoare sau dispozitive optoelectronice
III.	Prin comandă continuu variabilă	Vioara electrică, banjo electric, chitară electrică	Eterofonul Termen (termenvox), sferofonul Mager, ondiolina Jenny
	Prin lovire sau mînuire	Carillon, clopote electrice Martin, electrocembalet	Dinofonul Bertrand, trautoniul, helertoniul, armonica electrică cu 4 voci
	Prin claviatură	Piane electrice, orgi electrice	Undele Martenot, pianul electropneumatic Givelet, orga electrostatică, orga electronică, orga fotoelectrică, claviolina, orga electronică Hamond, melocordul, orga Tournier etc.
	Prin comandă automată cu program		Aparate vocoder și voder, sintetizatoarele RCA, Moog etc., sintetizatorul fotoelectric ANS (A. N. Seriabin)

(după Dem. Urmă)

Muzica electronică este una din culmile atinse de bunul gust şi ştiinţa secolului nostru.

Şi cînd vorbim de bunul gust şi exigenţă artistică trebuie să ne referim şi la formaţiile de muzică uşoară şi formaţiile ritmate de muzică uşoară, care cuprind pe lîngă instrumente clasice şi pe cele electronice. Combinaţia timbrurilor acestora precum şi intensitatea sau ritmul rapid, trebuie dozat judicios, spre a satisface procesul de creaţie a frumuseţii muzicale.

Adevărata muzică, oferă libertate tuturor sunetelor, împrieteneşte vioara cu orga, cu termenvoxul şi trompeta cu ecvodina.

Muzica trebuie să mişte pe om, să îl facă să plîngă, să rîdă, să se bucure, nu să pricinuiască durere, chiar fizică, ştiut fiind că există şi sunete care devin nocive, prin frecvenţa şi tăria lor, senzaţii resimţite atunci cînd ascultăm o creaţie muzicală oarecare.

Clasificarea instrumentelor electroacustice poate fi făcută, de asemenea ţinînd seama de felul sunetelor (variabile şi fixe) precum şi de modul de emisie al sunetelor (prin comandă continuu variabilă), prin lovire sau mînuire, cu claviatură şi prin comandă cu program.

Pentru o sistematizare a prezentării acestor instrumente se poate consulta tabelul 3, întocmit după mai multe criterii a diferiţi autori.

Aruncînd o privire generală pe acest tabel, se constată că instrumentele electromuzicale sînt numeroase, deşi nu au fost menţionate toate tipurile şi mărcile respective.

Dintre toate aceste tinere construcţii par a fi apreciate : termenvoxul, undele Martenot, instrumentele fotoelectrice şi unele orgi electronice.

Poate se naşte întrebarea : de ce este necesar acest tabel ? Am considerat că electroniştii amatori şi de muzică, cunoscînd stadiul de dezvoltare al instrumentelor muzicale, printr-o documentare adecvată, vor fi îndemnaţi să realizeze noi construcţii, calitativ superioare, bazate pe principii originale. Cîmpul de lucru este vast în acest domeniu, variantele nenumărate.

În paralel cu aceste tipuri de instrumente au mai fost create şi o serie de *adaptoare, generatoare de efecte şi imitaţii*, electronice care oferă de asemenea, o largă posibilitate de dezvoltare.

O altă categorie de sunete electronice emise de aparate purtînd denumiri din cele mai bizare ca : melocord, fotoformer, sonovor, fonogen, morfofon, variofon, composertron etc. atestă capacitatea de lucru oferită de electronică.

Pentru lămuriri mai detaliate asupra lor, recomandăm bibliografia de la sfîrşitul prezentei lucrări.

Capitolul IV

Audio la domiciliu

Tehnica obținerii, înregistrării și reproducerii muzicii, vorbirii și altor sunete pe cale electronică, pentru marele public sau la domiciliu cuprinde un ansamblu de elemente electrice, prin care se obține captarea semnalelor sonore direct din aer sau prin radio și amplificatoare de audiofrecvență, de la una sau mai multe surse. Urmează amplificarea semnalelor, eventual modificarea parametrilor lor, redarea și recepționarea audio prin efecte acustice — vibrații ale aerului. Să comparăm două situații de transmitere a mesajului sonor : în mod normal și pe cale electronică.

SURSE SONORE

De exemplu, într-o sală de concerte, spectatorii de pe margine nu pot percepe egal de clar toate pasajele melodiei, cînd deodată, toată sala se umple de o sonoritate magică încît pînă și cel mai îndepărtat spectator distinge cele mai fine și delicate acorduri, ca și cînd s-ar afla la doi pași de instrumentiști. Ce s-a întîmplat ?

În primele momente mesajul muzical se transmite numai prin vibrațiile aerului datorită energiei imprimate de sunetele instrumentelor iar atunci cînd a intrat în funcțiune instalația de sonorizare, sunetele se transmit la distanțe mai mari, distingîndu-se cele mai delicate nuanțe.

Între sursa de mesaje *S* (fig. 19) și receptorul *R* a fost introdus lanțul de transmisie, traductorul T_1 (microfonul), canalul de transmisie (amplificatorul audio) și traductorul T_2 (difuzorul). Perturbațiile (*P*) distorsionează forma pură a sunetului..

Legătura ce se stabilește între sunetul original și receptor (ascultător) este de dorit să fie de „înaltă fidelitate" (Hi-Fi : High fidelity). Dar idealul

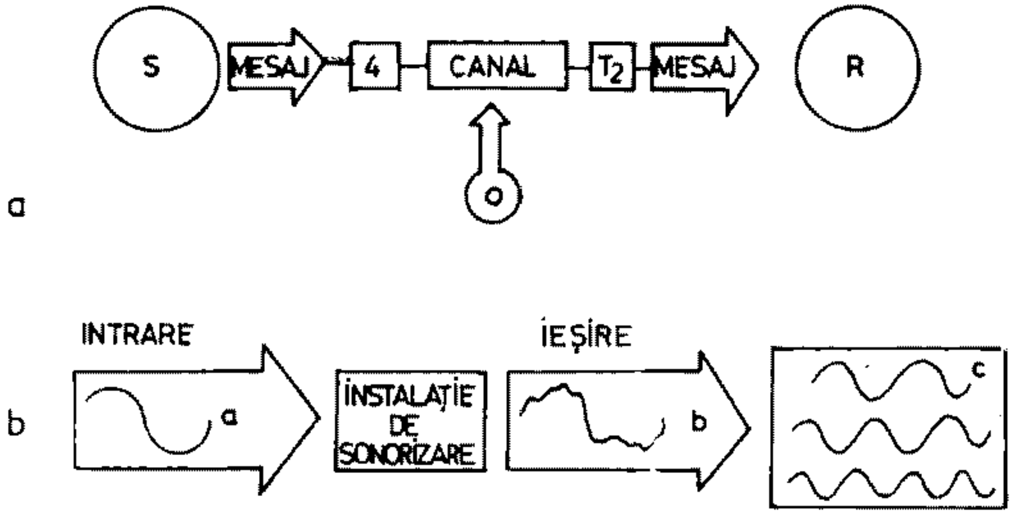


Fig. 19. Deformarea semnalelor prin aparatura de sonorizare : *a* — lanţul mesajului sonor : *b* — după trecerea prin instalaţia sonoră.

este rareori atins, ca în orice domeniu, şi ne-am înşela dacă am presupune că un sistem de redare a sunetelor este uşor de realizat.

Prin stereofonie şi alte condiţionări ale mesajului muzical, ascultătorii se pot bucura, de un standard mai înalt de fidelitate.

Captarea semnalelor electrice de către aparatura de sonorizare este la începutul lanţului „pură", însă datorită „prelucrării", semnalele se deformează în „călătoria" lor pînă la cei mai îndepărtaţi spectatori, „perturbate" de diferiţi factori. Semnalul, la început sinusoidal (*a*) din figura 19, ajunge la ieşire „distorsionat" de forma *b*, descompus corespunzător unei serii Fourier, ca o fundamentală cu mai multe armonici (*c*).

Scopul de a păstra caracteristicile sunetului original impune condiţia de a avea un echipament audio, capabil să redea gama completă de sunete auditive, de la cele mai joase pînă la cele mai înalte, adică să corespundă curbei de fidelitate *(caracteristica de frecvenţă)*, să prezinte distorsiuni liniare (de amplitudine) şi neliniare (de frecvenţă) cît mai mici iar *dinamica de lucru* (redarea nuanţelor orchestrale de la pian la fortissimo) să fie evidentă.

Se spune că vocile şi instrumentele au anumite calităţi (caracteristici) tonale complexe sau *timbru*, a cărui redare cît mai corectă conferă meritul de înaltă fidelitate. Este un fapt necontestat că ascultătorii preferă sunetul stereofonic, faţă de cel monofonic. Dar ceea ce devine familiar, cu timpul dezvoltă gustul pentru nivele mai înalte, exigenţă sporită : se cere echipamentului care transportă mesajul sonor să redea o bandă mai largă de frecvenţe, fără distorsiuni prea mari la amplificare.

Din figura 20, se observă la intrare spectrul sonor pur şi cum apare semnalul distorsionat la ieşire, fapt reprezentat şi grafic pe curba de frecvenţă.

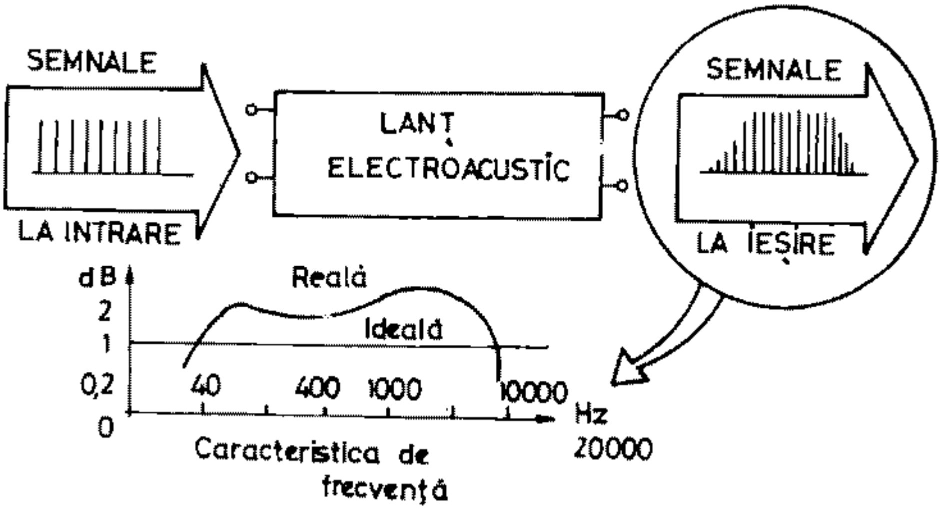


Fig. 20. Curba caracteristică de fidelitate a etajelor de AF.

În cazul unui amplificator perfect acesta ar trebui să amplifice uniform toate sunetele a căror frecvenţă a fost cuprinsă în banda de trecere pentru care a fost conceput. În realitate însă, nu toate frecvenţele sînt amplificate uniform, producîndu-se distorsiuni de neliniaritate ce apar mai ales în etajul final de AF. Performanţele aparaturii pot atinge banda de frecvenţă 30 . . . 10 000 Hz.

Această schimbare de formă a semnalelor este uneori, cum se va vedea, dorită (în cazul efectelor acustice speciale) dar în general se evită alterarea supărătoare a semnalelor de către unele perturbaţii existente în interiorul cît şi provenite din afara aparaturii.

Semnalul acustic care „transportă" mesajul muzical se transformă în instalaţia de sonorizare în semnale electrice ce pot fi amplificate, atenuate, reglate, deformate, mixate şi transmise la distanţă.

În ultimii ani s-a acordat mai multă atenţie posibilităţii de a realiza sistemele audio mult mai acceptabile marelui public, pentru acasă, prin reducerea dimensiunilor aparaturii precum şi îmbunătăţirea aspectului acesteia.

Un lanţ (sistem) audio complet pentru amatori are componentele prezentate în figura 21. Se propune un microfon, sau picup stereo, magnetofon mono sau stereo şi un radioreceptor stereo. Unitatea de control, facilitează reglajele de ton, volum şi selectează intrările prin preamplificator de tensiune, ridicînd nivelele scăzute ale semnalelor de la intrare la nivele ridicate de tensiune necesare pentru a comanda amplificatorul de putere, şi în final pentru a alimenta difuzorul.

Uneori unitatea de control (care afectează şi mixajul între diferitele semnale) şi amplificatorul de putere pot fi combinate într-un singur aparat mai uşor de manevrat. Chiar şi cele două difuzoare ale unui sistem stereo constituie o problemă de rezolvat în vederea reducerii dimensiunilor incintei sonore, fără a sacrifica performanţele.

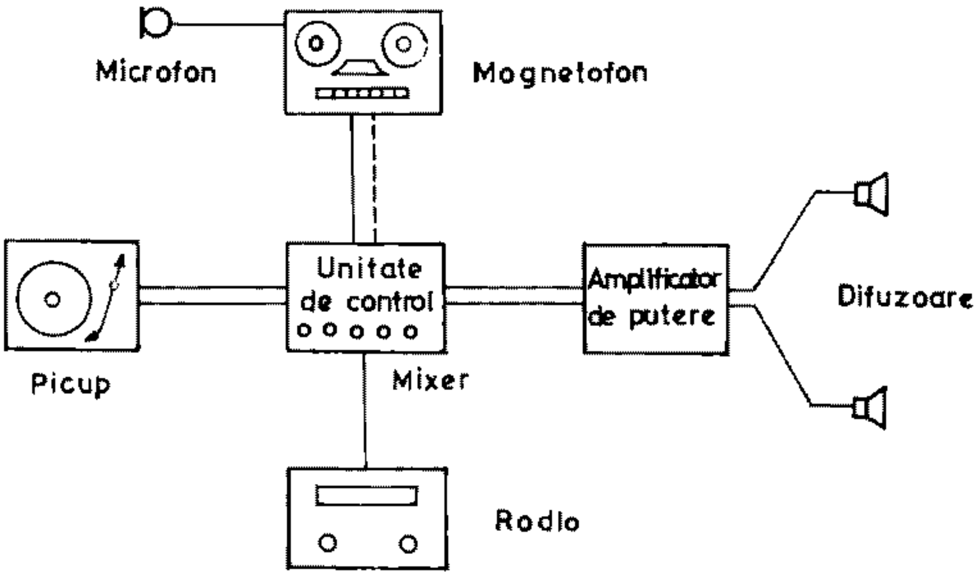


Fig. 21. Componentele principale ale unui sistem audio complet.

Tendința de a realiza un lanț electroacustic stereo sau cuadrofonic compact s-a accentuat în prezent, în special pentru plasarea lui în camere mici, la domiciliu. Reproducerea „mono" a sunetului, deși adusă la un standard înalt, chiar dacă o transformăm în pseudo stereofonie are un efect limitat, mai ales la pasajele muzicale zgomotoase pe care le amestecă și le „înghesuie", lăsînd impresia de sunet unidimensional.

COMPONENTELE CIRCUITELOR ELECTRONICE

Aparatele electronice, propuse mai departe spre realizare cu mijloace proprii, necesită oarecare cunoștințe de radioelectronică, atît teoretice cît și practice. Oricare ar fi schema aleasă, materialele și piesele folosite sînt următoarele :

— componente pasive (rezistoare, capacitoare, bobine și transformatoare) ;

— componente active (tuburi electronice și dispozitive semiconductoare).

Aceste piese radioelectrice sînt combinate în diferite moduri și conectate între ele prin conductoare, cabluri sau asociate inseparabil ca microcircuite, denumite circuite integrate.

Pentru orientare se dau cîteva date utile despre modul în care să recunoaștem și să alegem aceste piese și materiale.

Rezistoarele sînt piese care prezintă o anumită rezistență electrică (*R*). Cu cît valoarea rezistenței crește, cu atît curentul din circuit devine mai mic $(I_A = \frac{E_V}{R_\Omega})$.

Unitatea de măsură a rezistenţei electrice este ohmul (Ω), cu multiplii şi submultiplii lui : 1 MΩ = 10^3 kΩ = $10^6\Omega$. Rolul unui rezistor este de a stabili, o anumită intensitate a curentului din circuit, a o limita sau a micşora tensiunea.

Rezistoarele se clasifică după construcţie în rezistoare chimice şi bobinate ; fixe şi variabile, ultimele putînd fi reostate şi potenţiometre.

În raport cu legea de variaţie, ele se clasifică în : rezistoare cu *variaţie liniară* (creşterea valorii rezistenţei este constantă) ; cu *variaţie logaritmică* (la începutul rotirii cursorului rezistenţa creşte mult, apoi din ce în ce mai puţin) şi cu *variaţie exponenţială* (iniţial valoarea rezistenţei creşte mult, apoi din ce în ce mai mult).

Principalii parametri ai rezistoarelor sînt : *valoarea nominală* (ex. 5 K 5 = = 5,5 kΩ = 5 500Ω) ; *puterea nominală* de lucru (ex. 0,25 W ; 1 W, 2 W) ; *tensiunea de lucru*, maximă la care corpul rezistorului este străpuns şi are loc arderea lui.

Aceşti parametri sînt marcaţi fie printr-un cod de litere şi cifre (2 M = = 2 MΩ), cod în clar (510Ω, 5 W, 10%) sau codul culorilor, prin inele sau puncte colorate astfel : negru, cafeniu, roşu, oranj, galben, verde, albastru violet, gri, alb, auriu, argintiu. Fiecărei culori îi corespunde o cifră : negru = 0 ; cafeniu = 1 ; roşu = 2 ; oranj = 3 ; galben = 4 ; verde = 5 ; albastru = 6 ; violet = 7 ; gri = 8 ; alb = 9 ; ultimele culori auriu şi argintiu, indică toleranţa (diferenţa dintre valoarea nominală şi cea reală, în procente).

Există tabele speciale cu acest cod al culorilor, dar el poate fi memorat. Se observă că 6 din cele 10 culori sînt identice culorilor curcubeului *(rogvav)*, iar prima culoare este negru şi ultima alb. Astfel memorarea devine uşoară.

Numărarea inelelor colorate începe de la cel mai apropiat inel de unul din terminale. De exemplu, un rezistor cu 4 inele colorate astfel : I — oranj ; II — verde ; III — galben, IV — argintiu, va avea valoarea de 350 000Ω ± 10% sau 350KΩ ± 10% toleranţă.

Simbolurile grafice ale rezistoarelor, capacitoarelor şi bobinelor sînt prezentate în figura 22.

Capacitoarele (condensatoare) sînt elemente pasive care intră în componenţa circuitelor electronice. Ele sînt constituite din două armături metalice separate de un material izolator. Valoarea capacităţii depinde de dimensiunile geometrice şi de natura dielectricului dintre armături şi variază cu temperatura, tensiunea sau frecvenţa ei.

Unitatea de măsură pentru capacitatea condensatorului este faradul (F) dar în practică se utilizează submultiplii lui cu următoarele relaţii :

1 F = 10^6 μF = 10^9 nF (mμF) = 10^{12} pF ($\mu\mu$F).

1 F = 10^9 nF ; 1 nF = 1 000 pF ; 1 μF = 1 000 nF = 10^6 pF.

1μF = 1 000 mμF = 10^6 pF($\mu\mu$F).

1 μF = 10^3 nF = 10^6 pF ($\mu\mu$F).

Principalii parametri ai capacitoarelor sînt : *capacitatea nominală* care se marchează pe corpul capacitorului ; *tensiunea nominală* este valoarea tensiunii de lucru (10 μF/450 V).

Valorile capacităților condensatoarelor fixe se dau în microfarazi, nanofarazi și picofarazi iar la condensatoarele variabile și semivariabile se specifică valorile extreme (ex. 15 – 520 pF).

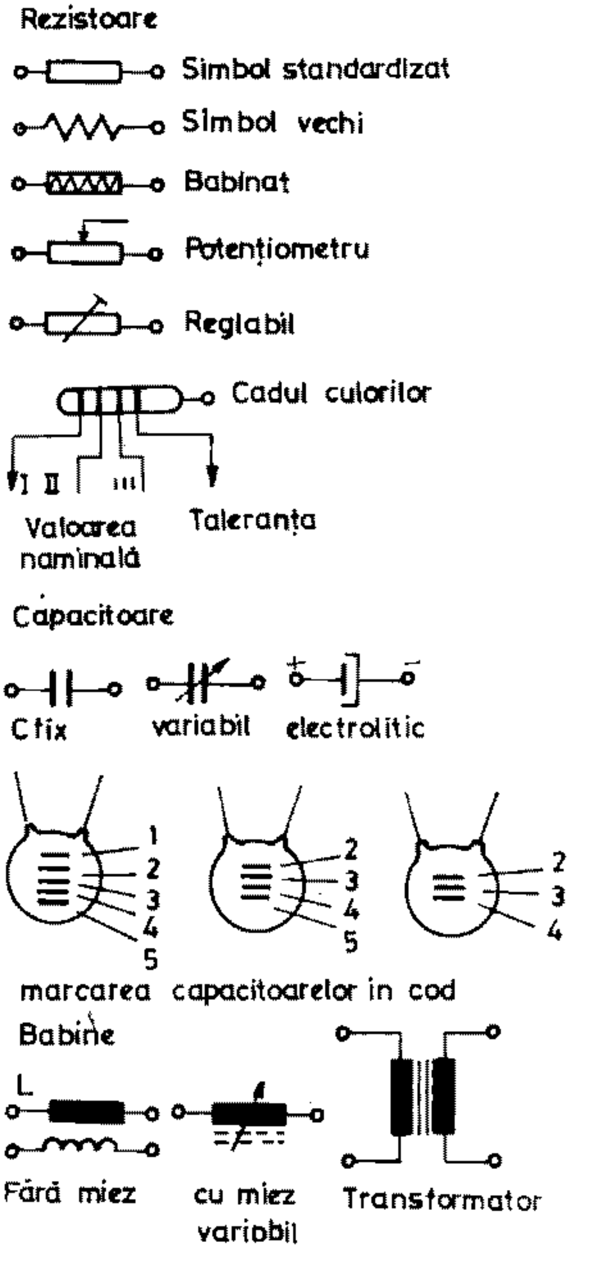


Fig. 22. Reprezentarea grafică a elementelor de circuit pasiv RLC

La indicarea valorilor capacitoarelor se folosesc, fie inscripții (ex. 0,5 μF + 30% — 1 000 V), fie codul culorilor ca la rezistoare.

Tipurile constructive de capacitoare sînt : fixe, ajustabile și variabile. După felul dielectricului se deosebesc : condensatoare *ceramice*, condensatoare cu *hîrtie*, cu armături din *aluminiu-styroflex*, cu folie de *polistiren*, *electrolitice* (semiumede cu tantal și polarizate).

Condensatoarele de tip antiinductiv sînt marcate cu un cerc negru la capătul care trebuie să fie legat la masă. Funcțiile condensatoarelor sînt: separă curentul alternativ de cel continuu, acordul circuitelor, cuplajul și decuplajul circuitelor electrice etc.

Condensatoarele se pot verifica cu ohmmetrul sau cu un tub cu neon, iar măsurarea lor se face cu ajutorul unei punți RLC.

Bobinele sînt înfășurări de conductor cu una sau mai multe spire pe o carcasă din material izolant (ceramică, polistiren, calit etc.) cu sau fără miez de ferocart. Există și bobine de radiofrecvență fără carcasă. Scopul bobinei este de a crea un cîmp magnetic și o anumită inductivitate *(L)* care se măsoară în henry (H) sau submultiplii milihenry (mH) și microhenry (μH), între ele existînd relația :

$1\ H = 1\,000\ mH = 10^6 \mu H$; $1\ mH = 1\,000 \mu H$.

Din asocierea bobinelor cu un capacitor se poate forma un circuit oscilant, de intrare, de acord, de frecvență intermediară etc.

Transformatoarele au la bază fenomenul de inducție care apare între două bobine apropiate, cu axele paralele, montate pe același miez de fier. Într-un transformator, una este bobina primară, iar aceea la bornele căreia se cuplează tensiunea indusă este bobina secundară.

Transformatoarele de radiofrecvență și de medie frecvență au miez feromagnetic, inductanța lor fiind redusă (cîteva sute de milihenry).

Dispozitivele semiconductoare, deși apărute în electronică în ultimele decenii, au luat o mare dezvoltare, fiind utilizate în majoritatea montajelor. Spre deosebire de elementele pasive (RLC) denumite liniare, deoarece raportul dintre tensiune și curent este constant, respectînd legea lui Ohm, dispozitivele semiconductoare (diode, tranzistoare) sînt elemente neliniare (active), întrucît o creștere a tensiunii nu provoacă o creștere liniară a curentului.

Spre deosebire de metale, semiconductoarele posedă proprietăți electrice caracteristice, conductibilitatea lor electrică situîndu-se între cea a conductoarelor și cea a dielectricilor, variabilă, în funcție de temperatură, iluminare, presiune, cîmpuri electrice, magnetice etc.

Dispozitivele semiconductoare (diodele și tranzistoarele) au la baza lor constructivă două elemente : germaniul și siliciul. Simbolurile lor grafice sînt redate în figura 23.

În prezent există un mare număr de tipuri de diode și tranzistoare, cu denumiri diferite, după funcțiile pe care le îndeplinesc. Ne vom referi doar la cele utilizate în montajele din prezenta lucrare. Pentru informații mai detaliate se vor consulta lucrările recomandate de bibliografie, cît și anexa (fig. 71).

Tipurile de diode semiconductoare sînt următoarele : diode redresoare (EFR) cu joncțiuni și detectoare (EFD) cu contacte punctiforme ; diode stabilizatoare (Zener) ; diode varicap (varactor) cu capacitate variabilă ; diode tunel ; diode de comutație ; diode electroluminescente (LED).

Tranzistoarele sînt formate din trei zone semiconductoare diferite în succesiune *pnp* sau *npn*, cu condiția ca zona din mijloc să fie foarte subțire. Cele trei zone se numesc, în ordine : emitor E, bază B, colector C și au în exterior trei conexiuni, denumite „terminale" (fig. 23).

Pentru identificarea rapidă a terminalelor în cazul unui tranzistor necunoscut se va folosi un ohmmetru.

Se consideră că orice tranzistor poate fi reprezentat sub forma a două diode (fig. 23), care în cazul tipului *pnp* au catodul legat împreună, iar la tipul *npn*, anodele sînt unitate.

Clasificarea tranzistoarelor cu joncțiuni cuprinde două tipuri fundamentale : *unipolare*, bazate numai pe un tip de purtători de sarcină, și anume

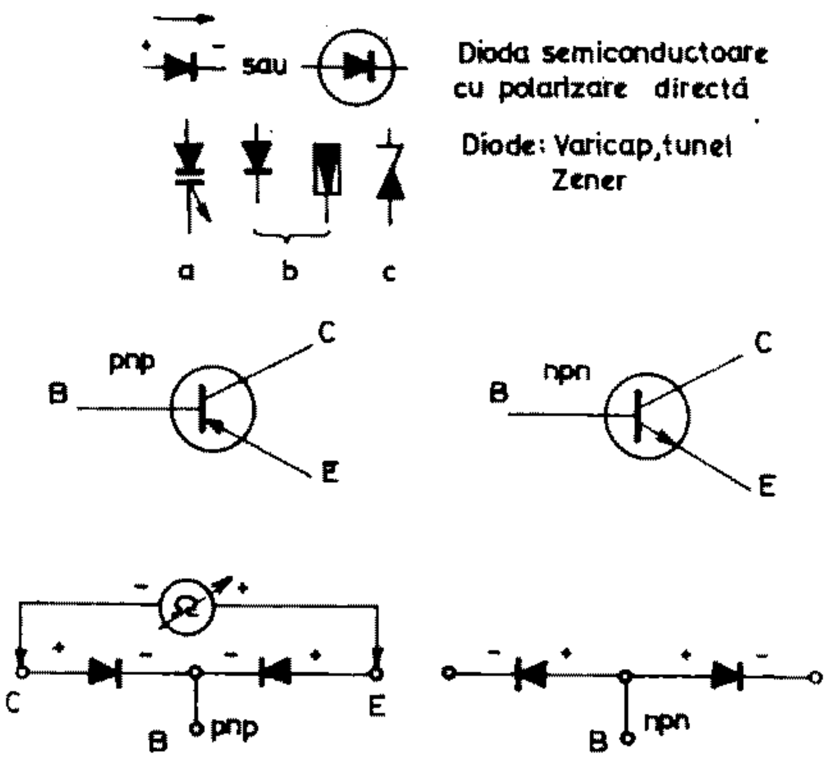


Fig. 23. Simbolurile diodelor şi tranzistoarelor pnp şi npn.

goluri sau electroni şi *bipolare*, bazate pe conducţia simultană de goluri, cît şi pe conducţia de electroni liberi (majoritari şi minoritari).

Tranzistoarele bipolare sînt de tip *pnp* sau *npn* şi sînt cele mai utilizate ca amplificatoare (TUJ) ale semnalelor electrice şi în comutaţie statică de joasă şi înaltă frecvenţă pînă la o anumită limită.

Tranzistoarele unipolare cu efect de cîmp TEC-J (fig. 24) utilizează un singur tip de purtători de sarcini (majoritari) şi pot fi cu grilă joncţiune sau cu grila izolată TEC MOS (metal oxid de siliciu) sau MOS-FET.

Dispozitive semiconductoare speciale : tranzistoare unijoncţiune (TUJ), Tiristorul, Diacul, Triacul.

Dispozitivele optoelectronice sau fotoelectrice se clasifică în fotoreceptoare şi fotoemiţătoare :

— fotoreceptoarele sînt dispozitive care transformă semnalele luminoase în semnale electrice : Fotorezistorul, Celula fotovoltaică, Celula fotoelectrică, Celula solară, Fotodioda, Fototranzistorul, Fotodarlingtonul, Fototiristorul.

— fotoemiţătoarele sînt dispozitive care emit lumină atunci cînd sînt direct polarizate cu o sursă electrică. Dioda laser, Diodele electroluminescente (LED), Cuplor optic (optron elementar). Aceste dispozitive se folosesc la instrumentele muzicale optoelectrice.

Amintim şi *cristalele lichide* doar pentru a nu fi confundate cu celelalte dispozitive fotoelectrice utilizate la afişajul minicalculatoarelor.

Circuite integrate (CI) formează un grup de elemente electronice pasive și active conectate inseparabil pe sau în interiorul unui substrat material fizic de bază, îndeplinind funcția unuia sau mai multor etaje, spre deosebire de componentele *discrete* (încapsulate) descrise mai sus (RLC, diode, tranzistoare etc.), care chiar dacă au dimensiuni miniaturale, măresc totuși volumul unei instalații complexe, necesitînd suduri, conexiuni ce devin uneori surse de deranjamente.

Din punct de vedere tehnologic se disting tipurile de circuite integrate :

— *CI monolitice* (monocip), avînd toate elementele formate printr-un proces unitar pe un singur cristal semiconductor (bipolare sau unipolare MOS) ;

— *CI fragmentate* (multicip) formate prin interconectarea mai multor circuite monolitice în aceeași capsulă ;

— *CI monolitice cu peliculă subțire* (peliculare) și CI hibride cu substrat izolant (ceramică, sticlă).

Circuitele integrate amintite mai sus au fost enumerate cu titlu informativ, utilizarea lor fiind rezervată amatorilor avansați, care pot construi cu ele amplificatoare pentru instrumente muzicale electronice.

Verificarea și măsurarea dispozitivelor semiconductoare se poate realiza în multe moduri, după posibilitățile constructorilor amatori : cu montaje improvizate sau cu aparate de măsură simple (ohmmetru, avometru, osciloscop etc.).

În cazul de față redăm în figura 24, *a*, *b*, *c*, *d*, simbolurile grafice ale unora dintre tranzistoare spre a fi recunoscute pe scheme, iar în figura 24, *e* — cir-

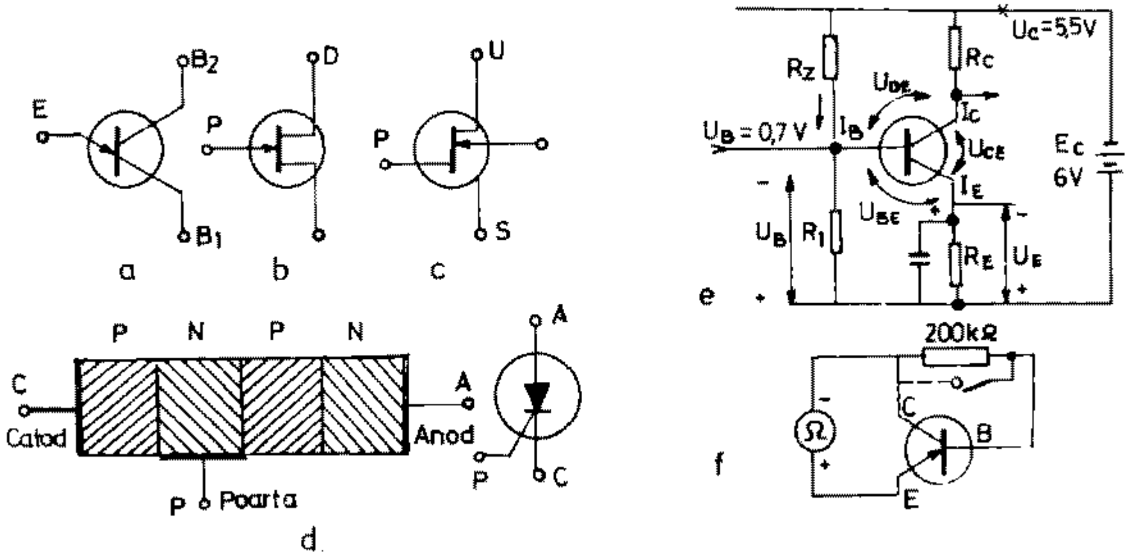


Fig. 24. Tranzistoare și simboluri de reprezentare : *a* — tranzistor unijoncțiune cu baza dublă (TUJ) ; *b* — tranzistor cu efect de cîmp (TEC-MOS) ; *d* — tiristor ; *c* — alimentarea unui tranzistor *pnp* în montaj cu emitor comun EC ; *f* — încercarea tranzistoarelor cu ohmmetrul.

cuitele de alimentare ale unui tranzistor și tensiunile aproximative pe terminale în cazul unei surse electrice de 6 V. Pentru altă valoare a sursei desigur că se schimbă și raportul tensiunilor. Schema este orientativă numai.

Pentru a verifica dacă un tranzistor este în stare de funcțiune sau defect, se realizează un montaj simplu (fig. 24, *f*), cu ajutorul căruia introducînd în circuit un rezistor de 100 . . . 200 kΩ se poate constata aproximativ și factorul de amplificare al tranzistorului în cauză.

În anexa de la sfîrșitul lucrării (fig. 71) sînt date sub formă de tabel cîteva tipuri de diode și tranzistoare uzuale, cu simbolul grafic și tipul capsulei spre recunoașterea terminalelor.

TRADUCTOARE ELECTROACUSTICE

Procesul transducției, de preferat fără deformări, a semnalului sonor îl îndeplinesc traductoarele electroacustice. Ele sînt de două categorii :

— traductoare ce transformă sunetele în oscilații electrice (microfoanele, fonocaptoarele — (dozele piezoelectrice) ;

— traductoare ce transformă oscilațiile electrice în sunete (căștile și difuzoarele).

Transducția ideală ar fi atunci cînd variațiile sunetului electric corespund cu variațiile semnalului acustic, în cazul difuzoarelor și respectiv al microfoanelor. În realitate dezideratul nu este împlinit total, datorită traductoarelor.

Microfoanele au următoarele caracteristici electrice importante :

— *Sensibilitate* (eficacitatea) E, reprezintă raportul dintre tensiunea electrică în milivolți dată de microfon și presiunea sonoră de excitație în condiții de lucru (excitație) în microbari. Exprimată în decibeli, se raportează la o sensibilitate de 1 mV/μbar ;

— *Rezistența electrică de ieșire* ($R_{ieș}$) arată impedanța electrică (*Z*) a microfonului față de circuitul electric în care va fi conectat ;

— *Caracteristica de frecvență* exprimă variația sensibilității în raport cu frecvența. Se mai numește și banda de frecvență în care sensibilitatea electrică nu are o abatere mai mare decît o valoare prescrisă (de exemplu ± 3 dB față de sensibilitatea la 1 000 Hz) ;

— *Zgomotul de fond* se datorește unor surse interne de zgomot și se dă în decibeli ;

— *Caracteristica de directivitate* este o reprezentare grafică, dată în prospecte, în care figurează domeniul de recepționare a semnalelor acustice. În funcție de această proprietate există microfoane omnidirecționale, bidirecționale, unidirecționale și complexe (fig. 25).

După modul de transformare a energiei sonore în energie electrică se cunosc următoarele tipuri de microfoane : microfoane cu cărbune, electro-

dinamice, electrodinamice cu bandă, piezoelectrice, capacitive, cu reluctanță controlată (magnetic).

În figura 26 se face o succintă prezentare în secțiune a fiecărui tip de microfon amintit mai sus.

— Microfonul cu granule de cărbune, întrebuințat în telefonie, este format dintr-o capsulă în care granulele mișcate de vibrația membranei își modifică rezistența de contact între ele și produc o variație a curentului de linie ;

— Microfonul electrodinamic produce transformarea energiei sonore în energie electrică prin intermediul inducției magnetice. Este utilizat, datorită calităților sale, în studiouri și săli de concert. Sensibilitate 0,100 mV/μbar.

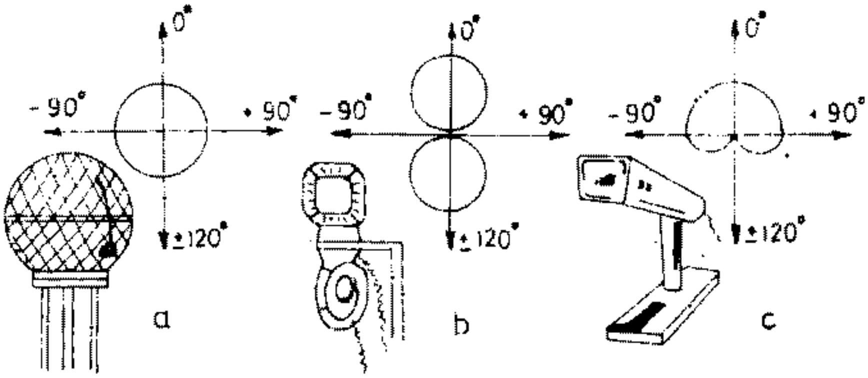


Fig. 25. Caracteristicile de direcționalitate a unor tipuri de microfon : *a* — omnidirecțional : *b* — bidirecțional : *c* — unidirecțional.

— Microfonul cu bandă, are la bază tot fenomenul electromagnetic. O bandă sonoră de aluminiu se mișcă intersectînd liniile de forță ale cîmpului magnetic, produs între polul N – S. Se mai numește și „microfon de presiune" sau de „viteză". Are o caracteristică de frecvență bună. Nu are zgomot de fond ;

— Microfonul cu cristal piezoelectric este de calitate înaltă. Presiunea sonoră provoacă deformații mecanice plăcuței, ceea ce produce o diferență de potențial la bornele ei electrice. Favorizează frecvențele înalte. Se utilizează și ca laringofon în aviație, tancuri etc. Sensibilitatea, 0,1 – 2,5 mV/μ bar.

— Microfonul capacitiv funcționează pe principiul condensatorului variabil, creat de două plăci metalice așezate față în față, una rigidă iar cealaltă o membrană subțire (diafragmă). Necesită o sursă de alimentare și un transformator de adaptare. Sensibilitatea 1 mV/μbar. Redă bine frecvențele înalte. Nu are zgomot de fond și se conectează prin intermediul unui preamplificator cu impedanță mare.

— Microfonul electromagnetic (cu reluctanță controlată) se compune dintr-un magnet permanent de care este fixată o armătură mobilă (membrană)

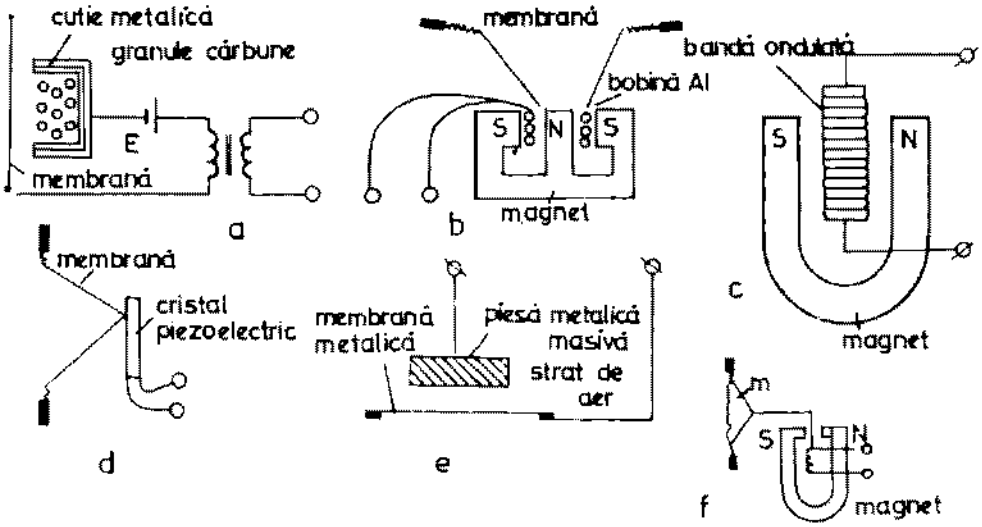


Fig. 26. Secțiune prin structura tipurilor de microfoane : *a* — microfon cu cărbune ; *b* — electrodinamic ; *c* — cu bandă ; *d* — piezoelectric ; *e* — capacitiv ; *f* — cu reluctanță.

de-fier moale. La impresionarea membranei *(m)* a microfonului (fig. 26, *f*) de catre sunete, aceasta se mişcă solidar cu o tijă pe care se află o înfăşurare, în cîmpul magnetic N — S, creind în bobină curenţi variabili în funcţie de variaţia semnalului sonor. Este un microfon mai puţin sensibil, fiind rar întîlnit.

Utilizarea microfoanelor. În practica profesională se folosesc mai multe tipuri de microfoane pentru obţinerea unei calităţi cît mai ridicate. Se face o combinare de microfoane, în funcţie de cîmpul acustic ce urmează a fi captat, conectînd fiecare microfon la echipament printr-un potenţiometru, filtre, limitatoare de zgomote, ecrane contra vîntului.

Pentru sursele sonore aflate în mişcare (spectacole de teatru, operă, filmări) se foloseşte „microfonul personal", aparat complex format dintr-un microfon de mici dimensiuni şi un radioemiţător. Pentru eliminarea zgomotelor provocate de frecarea microfonului de îmbrăcămintea interpretului, carcasa microfonului e netedă şi cu muchii rotunjite.

La cuplarea unui microfon la instalaţia de sonorizare trebuie să se ţină cont de adaptarea impedanţelor sursei cu aceea a microfonului, altfel captarea şi redarea pierd din fidelitate, cum se întîmplă şi la difuzoare. În general, microfoanele cu cărbune din cauza necesităţii unei surse electrice separate, dînd şi distorsiuni mari, nu se utilizează în AF.

Fiecare echipament este construit să lucreze cu un anumit tip de microfon. Cele mai des întîlnite în practică sînt microfoanele electrodinamice, avînd o mare sensibilitate (0,2 mV/μbar), nu au zgomot de fond, lucrează în banda 50 — 10 000 Hz cu o abatere de 6 dB, este robust, fiind utilizat pentru vorbă, muzică şi radioamatorism. Impedanţa de intrare este de 200 Ω la 1 000 Hz şi pot fi folosite cu montaje de intrare simetrice sau nesimetrice.

În montajul din figura 27, intrarea este simetrică prin transformatorul *Tr*, care se poate realiza pe un miez de fier, cu secțiunea de 3 cm². Înfășurarea primară are 800 de spire Cu Em Ø 0,2—0,3 mm, iar secundarul are 8 000 de spire din conductor CuEm Ø 0,08—0,1 mm. Raportul de transformare este deci de 10.

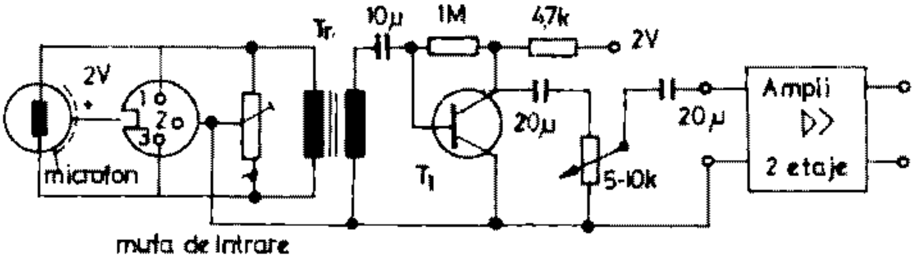


Fig. 27. Etaj cu intrare sistematică pentru cuplarea microfonului.

Se poate improviza un transformator de microfon cu raportul de 20—25, dintr-un transformator de rețea (de sonerie eventual) conectînd microfonul la înfășurarea de 6 V, iar primarul de 110 V, la intrarea preamplificatorului.

Deoarece transformatoarele sînt elemente care se procură mai greu, ridică prețul de cost, complică montajul, de obicei se face cuplarea microfonului la etaje mai simple, care au dezavantajul că nu dau o calitate deosebită la captarea electrofonică. În figura 28 sînt date schemele unor preamplificatoare simple pentru un microfon electrodinamic și unul piezoelectric.

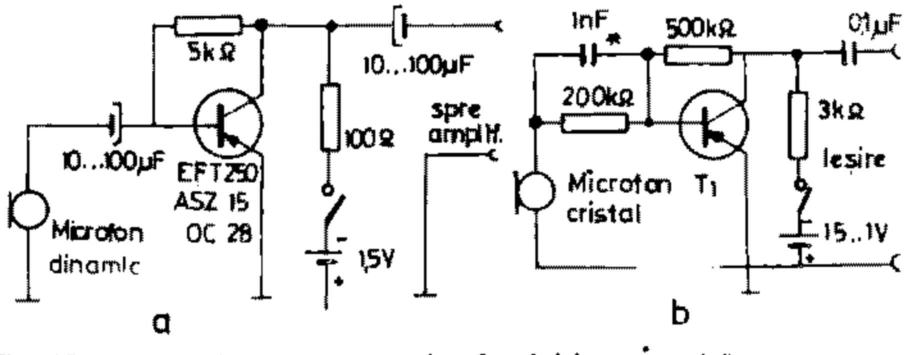


Fig. 28. Scheme de conectare a microfonului la preamplificator : *a* — microfon dinamic *b* — microfon piezoelectric.

Amplasamentul microfoanelor față de sursa sonoră ce trebuie înregistrată, nu se face la întîmplare dacă se dorește obținerea unei bune inteligibilități și corectitudini a sunetului. Există un așa-numit „plan sonor" definit ca fiind locul geometric în care microfonul captează optim sunetele, la audiție dînd impresia aceleiași distanțe microfonice.

Se disting : plan de atmosferă (general), plan normal (cu sunete directe, fără reverberații) și plan apropiat (scade impresia de spațiu, se exagerează sunetele grave, fără inteligibilitate).

Orientarea sursei sonore, modificarea distanței sursă – microfon sau orientarea microfonului, iată cîteva metode de modificare favorabilă a planului sonor.

Cîteva exemplificări de amplasament al microfonului, de pildă, pentru înregistrarea muzicii, vor lămuri mai mult problema în discuție, urmărind figura 29.

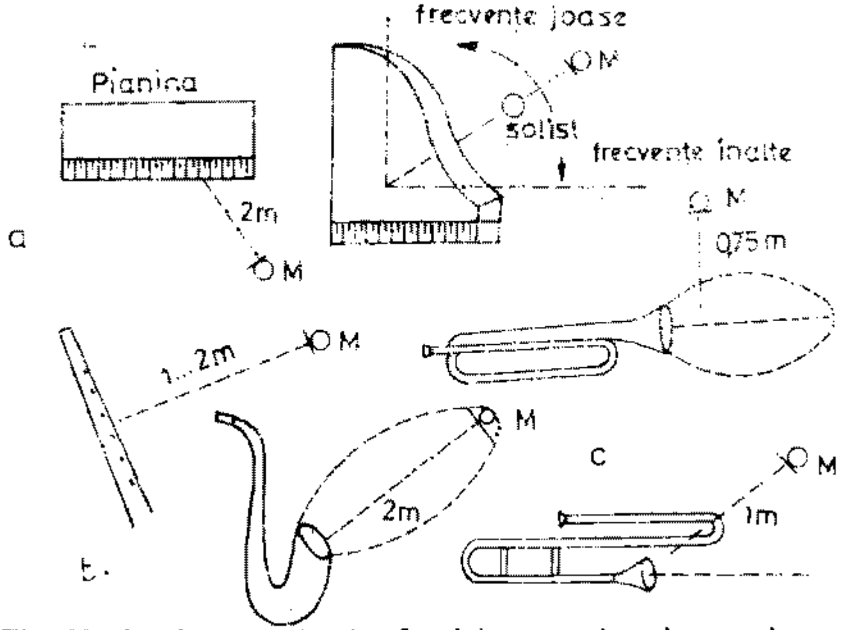


Fig. 29. Amplasamentul microfonului pentru înregistrarea instrumentelor : *a* — pian ; *b* — flaut ; *c* — alămuri.

Pentru înregistrarea pianului, microfonul se amplasează la 2 – 3 m de instrument în dreptul curburii (fig. 29, *a*).

Înregistrarea instrumentelor de suflat (flaut, clarinet, saxofon) se face de la o distanță de 0,5 – 2 m (fig. 29, *b*).

La instrumentele de alamă (trompetă, trombon, saxofon) se păstrează distanța de 0,75 – 2 m, sub un unghi foarte mic (fig. 29, *c*).

La chitară, microfonul se plasează deasupra corzilor, aproape de deschiderea cutiei de rezonanță la 0,5—2 m.

Formațiile de muzică populară folosesc un microfon centrat frontal pentru orchestră și un microfon separat pentru solist.

Formațiile de muzică ușoară sînt compuse din două secții : una melodică formată din suflători (saxofoane, trompete, clarinete, uneori corzi, pian) și alta ritmică formată din pian, chitară, contrabas, baterie și orgă electrică).

Pentru formația de muzică melodică se va amplasa un singur microfon frontal pe centru, în schimb pentru secția ritmică fiecare instrument își are microfonul său, la distanță de 50 – 80 cm.

Înregistrarea vocii umane se face avînd în vedere timbrul și o bună inteligibilitate. Nu este recomandabil să eliminăm frecvențele joase deoarece duce

la apariția unei voci cu timbru înalt. Trebuie urmărit echilibrul corect al frecvențelor prin amplasarea subiectului într-un plan mediu, nici prea apropiat nici prea îndepărtat. Cel ce vorbește trebuie să păstreze o poziție fixă față de microfon și numai dacă își modifică intensitatea sau dorește să schimbe planul sonor, din motive interpretative poate schimba planul sonor.

Vocile care pronunță exagerat siflantele (s, ș, t, ț etc.) se pot atenua prin poziționarea laterală față de microfon. Cuvintele trebuie pronunțate cu aceeași intensitate, fără a fi suprimate sau slăbite finalele frazelor.

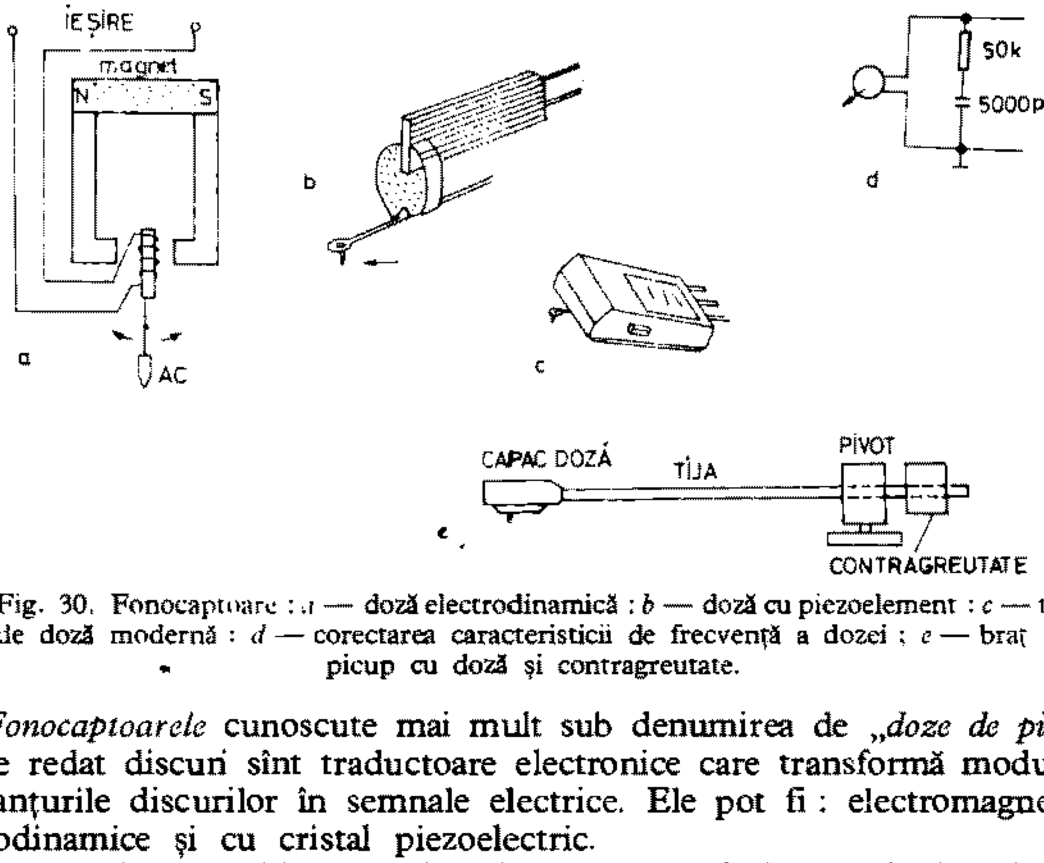


Fig. 30. Fonocaptoare : *a* — doză electrodinamică : *b* — doză cu piezoelement : *c* — tip de doză modernă : *d* — corectarea caracteristicii de frecvență a dozei ; *e* — braț de picup cu doză și contragreutate.

Fonocaptoarele cunoscute mai mult sub denumirea de *„doze de picup"* sau de redat discuri sînt traductoare electronice care transformă modulația din șanțurile discurilor în semnale electrice. Ele pot fi : electromagnetice, electrodinamice și cu cristal piezoelectric.

În practică se utilizează cel mai mult ultimul tip — cel piezoelectric. Le vom descrie succint.

— Dozele magnetice sînt de mai multe tipuri : cu reluctanță variabilă, cu magnet mobil, cu magnet inductor și dinamic cu bobină mobilă. Toate se bazează pe principiul interacțiunii cîmpului magnetic cu cel electromagnetic. Fonocaptoarele magnetice corespund redării monofonice.

Ne oprim cu descrierea la ultimul tip de doză — dinamică, fiind cea mai corespunzătoare (fig. 30, *a*).

O bobină mobilă, solidară cu acul lector, vibrează în cîmpul magnetic dintre cele două piese polare ale magnetului permanent, captînd semnalele electrice, pe care le transmite amplificatorului.

Există posibilitatea ca prin cuplarea a cîte două doze magnetice sub un unghi de 90° să fie folosit şi la redarea stereofonică cu dublu şanţ.

Fonocaptoarele cu cristal (fig. 30, *b*, *c*) alcătuite din două lamele piezoelectrice lipite între ele (element bimorf) — sub presiunea impactului cu şanţul discului, produc semnale electrice, de o frecvenţă şi amplitudine în raport cu deplasările vîrfului acului. Dozele cu cristal piezoelectric pentru reproduceri stereo sînt constituite din două cristale aşezate în unghi de 90°, ale căror vibraţii le redau în audiofrecvenţă. Performanţele dozei piezoelectrice sînt : curba de răspuns acoperă 20 Hz . . . 25 000 Hz ± 5 dB, dar comparativ cu cea electromagnetică are o mai bună liniaritate, cu alte cuvinte redă aproape uniform frecvenţa de mijloc (± 2 dB). În plus, doza magnetică, avînd o „apăsare" sub 1,5 mg, urmăreşte mai fidel şanţul discului călcînd corect în „*rilă*" (adîncitură). Condiţia ce se cere este ca braţul să fie de o construcţie perfecţionată, instalat şi reglat corect. În cazul redării stereo, există desigur doi factori de elasticitate : lateral şi vertical. Coeficientul lor cel mai bun oferit pînă acum este de circa 30×10^{-6} cm/dynă.

Tot în figura 30, *d* se recomandă folosirea unui simplu artificiu pentru reducerea zgomotului de fond la dozele piezoelectrice. La fel în cazul crăpăturilor survenite în cristalele piezoelectrice (din sarea Seignette sau sarea Rochelle — tartrat dublu de aluminiu şi potasiu) se poate repara, trecînd un ac încălzit peste locul defect. Operaţia se va efectua sub lupă.

Sistemele şi braţele care susţin dozele de picup sînt de diferite tipuri : monobloc, profesional, cu contragreutate (fig. 30, *c*) (pentru contrabalansarea greutăţii dozei şi a acului pe disc, care poate fi reglat precis pentru o „apăsare" optimă, mai ales la discurile stereo).

CĂŞTI ŞI DIFUZOARE

Căştile radio sînt caracterizate prin următorii parametri :

— caracteristici geometrice — centrul acustic de unde sînt difuzate aparent undele sonore şi axa principală care este axa de simetrie ;

— caracteristici electrice — puterea nominală care este puterea maximă la 800 Hz (se exprimă în waţi) ; puterea acustică radiantă, randamentul şi eficacitatea (în μbari/V).

Căştile pot fi de tipul : *electromagnetic* (R = 30 . . . 4 000Ω; banda de frecvenţă 100 . . . 3 000 Hz) ; electrodinamic (Z = 400Ω; banda de frecvenţă 100 . . . 6 000 Hz) ; piezoelectric (Z = 35 . . . 90 kΩ; banda de frecvenţă 300 . . . 3 000 Hz).

Conectarea căştilor la etajul final de putere a unui amplificator oferă audiţii de calitate şi este o operaţie simplă dar cere multă atenţie. În principiu se pot folosi orice tip de căşti (magnetice, dinamice, piezoelectrice) dacă ele se conectează în locul bobinelor mobile ale difuzoarelor, dar calitatea audiţiei

depinzînd de tipul căştilor şi impedanţei lor. Audiţia binaurală oferă efectul de relief sonor mai ales în cazul stereofoniei. Remagnetizarea căştilor electromagnetice se face descărcînd un condensator electrolitic de 32 μF/250 V, pe înfăşurarea căştilor, respectînd polaritatea mereu.

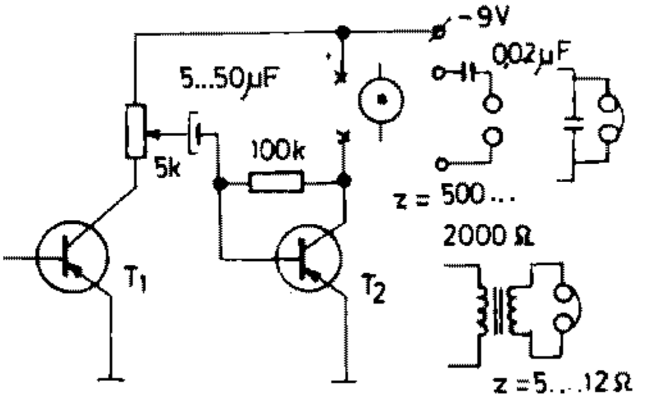


Fig. 31. Conectarea unei căşti telefonice : direct sau prin transformator.

În figura 31 este redată partea finală a unui amplificator audio şi modul de conectare ale căştilor fie direct în circuitul colectorului fie prin intermediul unui transformator.

Difuzoarele sînt traductoarele electroacustice cele mai răspîndite, fiind destinate transformării energiei electrice de audiofrecvenţă în energie acustică, sub formă de unde sonore.

Clasificarea difuzoarelor se face după principiul de funcţionare sau varianta constructivă. Astfel se utilizează difuzoare : electromagnetice, dinamice (permanent dinamice şi electrodinamice), electrostatice (cu condensator), piezoelectrice, ionice, cu pîlnie (fig. 32).

— Difuzorul electromagnetic (fig. 32, *a*) are o paletă solidară cu conul vibrator, care este atrasă de polii electromagnetului pe care este montată o bobină ce produce cîmpul magnetic creat de curentul alternativ de audiofrecvenţă. Caracteristici : bandă îngustă de frecvenţe redate (250 . . . 3 000 Hz) din care cauză nu se mai fabrică azi.

— Difuzorul dinamic *(b)* este cel mai răspîndit tip de difuzor folosit în prezent în diferite variante. Se deosebesc două tipuri : permanent dinamic (avînd magnet permanent) şi electrodinamic (cu bobină de excitaţie electromagnetică) avînd o putere mai mare. Există dinamice cu şi fără-pîlnie. Caracteristici : impedanţă mică ($Z = 3 \ldots 10\,\Omega$ la 800 Hz ; banda de frecvenţă 70 . . . 8 000 Hz. Necesită transformator de adaptare.

Funcţionarea se aseamănă cu aceea a microfoanelor dinamice : bobina mobilă a membranei oscilează în întrefierul magnetului în ritmul semnalului electric primit de la amplificator.

— Difuzorul electrostatic se bazează pe proprietăţile cîmpului electric creat între plăcile unui condensator format dintr-o placă fixă şi una mobilă, solidară cu conul vibrator.

La bornele B_1 şi B_2 se aplică o tensiune continuă şi semnalul electric de audiofrecvenţă. Variaţiile semnalului electric fac să apară forţe electrice

variabile, ceea ce produce variaţia sistemului placă mobilă — membrană (fig. 32, *c*).

Acest tip de difuzoare se utilizează la redare de înaltă calitate (banda 3 000 . . . 10 000 Hz). Necesită tensiuni de polarizare de circa 1 000 V. Este sensibil la şocuri mecanice.

— Difuzorul piezoelectric (fig. 32, *d*) are ca piesă de bază elementul piezoelectric, de care este prins un sistem de pîrghii pentru amplificarea mişcării membranei, în limite mai mari, cînd vibrează cristalul datorită defor-

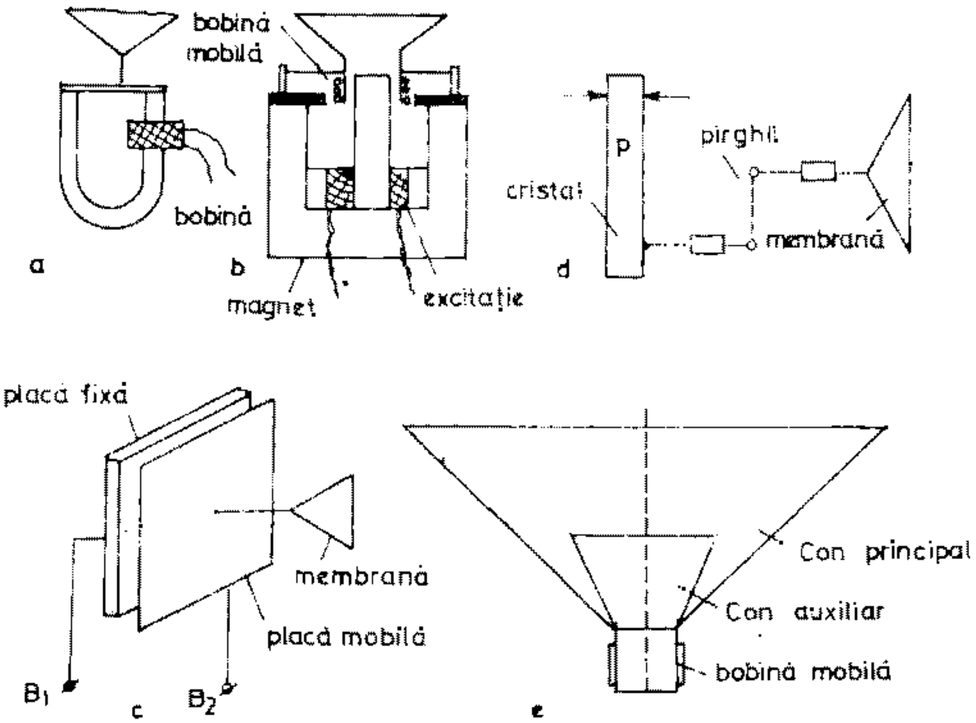


Fig. 32. Principiul de funcţionare al diferitelor tipuri de difuzoare: *a* — electromagnetic; *b* — dinamic; *c* — piezoelectric; *d* — electrostatic; *e* — sistem radiant cu două conuri.

mărilor cauzate de semnalul electric. Caracteristici: favorizează frecvenţele înalte, puterea radiată fiind mică datorită amplitudinii mici a semnalului. Este ieftin, dar cristalul piezoelectric devine sensibil la şocuri, umiditate şi căldură.

— Difuzorul ionic (ionofonul) se compune dintr-o cameră de ionizare, în care se produce încălzirea şi ionizarea aerului prin aplicarea unei tensiuni de radiofrecvenţă (circa 27 MHz).

Tensiunea este modulată în amplitudine de semnalul de audiofrecvenţă ce trebuie redat. Aerul ionizat străbate o fantă şi, intră într-un horn radiant, apărînd unde sonore, fără nici un element în mişcare.

Sistemul lucrează normal la frecvenţe de 2 000 Hz, fiind utilizat în cazuri speciale.

Dintre defectele mai frecvente ivite în cursul funcționării :

— vibrații supărătoare la frecvențe joase datorite printre altele oasilației firelor care fac legătura între bobina mobilă și bornele fixe de alimentare ale difuzorului sau descentrarea bobinei mobile a membranei ;

— „gîjîitul“ — acel sunet dogit — este provocat de existența unor particule metalice (pilitură) între bobina mobilă și întrefierul pieselor polare ;

— întreruperea înfășurării bobinei mobile, a cărei continuitate se verifică cu ohmmetrul sau cu un beculeț și o baterie înseriate ;

— deteriorarea membranei, prin rupere sau rosătură de șoareci poate fi remediată lipind locul respectiv cu soluție de lipit cauciuc, nitrolac, prenadez sau celuloid dizolvat în acetonă. Mai simplu, spre a nu se întări locul lipirii, ceea ce afectează elasticitatea membranei, se va lipi cu o bucată cît mai mică de leucoplast, bandă adezivă transparentă care se utilizează și la lipirea benzilor de magnetofon.

Centrarea membranei difuzorului, precum și rebobinarea bobinei mobile întrerupte sau descentrate sînt operații delicate, care nu reușesc deplin nici persoanelor calificate. Se pot încerca și de amatori, pe difuzoare oricum, care pot trece în inventarul muzeului personal, în caz de eșec.

O membrană moale, slăbită de vechime, un magnet slăbit (mai rar), sau alte defecțiuni mai mici impun înlocuirea difuzorului cu altul de aceeași impedanță și putere, regulă ce trebuie strict respectată spre a evita deteriorarea etajului final audio.

Adaptarea impedanței bobinei mobile a difuzorului (Z = 3, 4, 5, 8, 16, 35 Ω) la impedanța de ieșire a etajului final este de o importanță deosebită. Diversitatea difuzoarelor ca impedanță este un motiv de atenționare a constructorilor sau depanatorilor radio, cînd conectează unul sau mai multe difuzoare la un amplificator. Impedanța difuzorului trebuie să fie cu 20 . . . 50% mai mare decît impedanța proprie a bobinei mobile a difuzorului. O impedanță mai mică decît aceea a bobinei mobile va da o audiție mai puternică dar distorsionată și cu riscul de a deteriora tranzistoarele finale.

Sisteme de difuzoare. Practic nu se pot realiza difuzoare care să redea în mod corespunzător întreaga gamă audio și se preferă împărțirea ei în două trei subgame, cu ajutorul unor filtre.

În figura 33 sînt redate cîteva sisteme de difuzoare care să permită redarea frecvențelor joase, medii și înalte fie prin intercalarea unui filtru simplu, format dintr-un singur condensator (fig. 33, *a*), cele două difuzoare avînd impedanță aproximativ egală ; cînd impedanțele diferă, se folosește montajul din figura 33, *b*, format dintr-un grup LC.

Valorile capacitorului C și a inductanței L se aleg în funcție de gama de frecvențe ce dorește a fi redată cu relațiile următoare :

$$C_{(pF)} = 159\,000 \frac{1}{f_0 R_0}\ ;\ L_{(mH)} = \frac{159\,R_0}{f_0}\ ;$$

în care : f_0 este frecvența medie (de obicei $f_c = 8\,000$ Hz) iar ;

R_0 — rezistența bobinei mobile. Cifra 159 000 este o constantă.

Conectarea difuzorului de frecvență înaltă nu strică adaptarea ci din contră o îmbunătățește deoarece, la frecvențe mari, impedanța difuzorului principal crește.

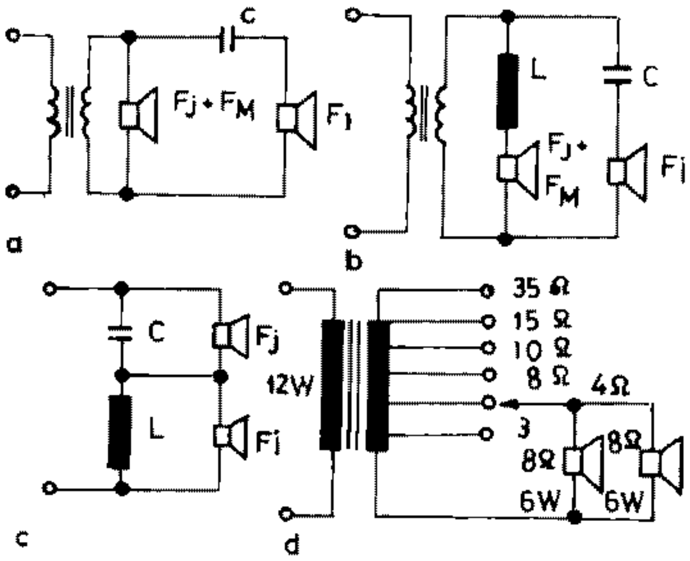


Fig. 33. Sisteme de difuzoare cu filtre de separare : *a* — cu impedanțe aproximativ egale ; *b* — diferite : *c* — două difuzoare montaj serie ; *d* — adaptare prin transformator.

Întrebuințate mult sînt sistemele ce utilizează filtre pentru separarea frecvențelor joase și înalte transmise difuzoarelor. Un montaj serie a două difuzoare cu impedanțe egale și filtru de separare LC este prezentat în figura 33, *c*.

La frecvența de separare, reactanța bobinei este egală cu reactanța capacitorului și cu impedanța difuzorului și fiecare difuzor va primi jumătate din puterea de ieșire a amplificatorului.

Cu ajutorul unui autotransformator adaptor de impedanță (fig. 33, *d*) se rezolvă practic adaptarea atunci cînd se face depanarea sau încercarea unui difuzor.

În figura 34, *a* este prezentat un sistem de legare a trei difuzoare, avîndu-se în vedere ca să se adapteze impedanțele lor, iar suma puterilor celor trei difuzoare, să fie egală cu puterea de ieșire a etajului final. Se dau în acest exemplu și valorile elementelor filtrului.

Metode de a adapta impedanța și puterea a patru difuzoare (fig. 34, *b*) precum și schimbarea raportului intensității sunetelor a două difuzoare (balans), constituie exemple de modificarea parametrilor sunetelor.

Există și sisteme complexe folosite în acest scop, dar în practică amatorii folosesc asemenea sisteme simple : de obicei cu două benzi, maximum trei pentru corectarea neuniformității caracteristicii de frecvență.

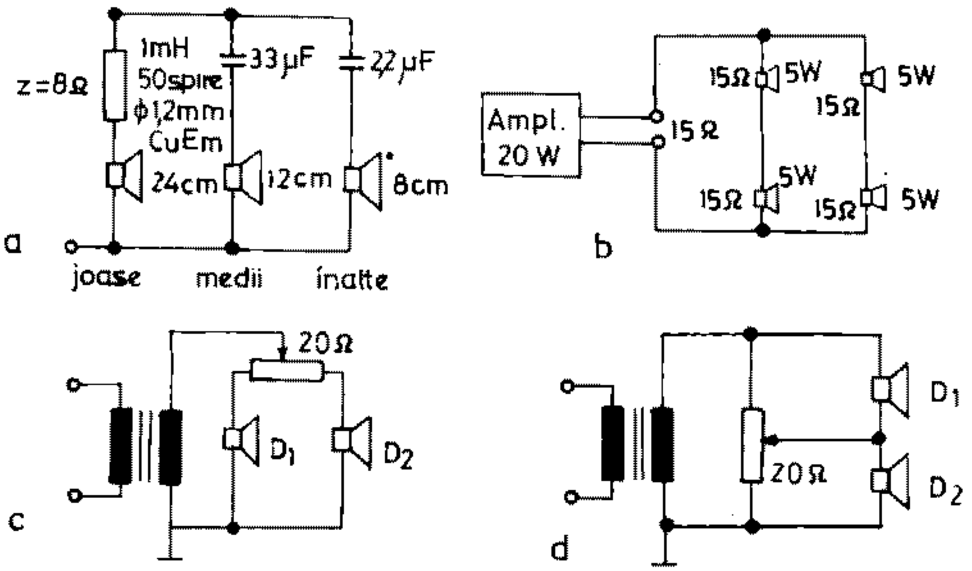


Fig. 34. Sisteme de montare a difuzoarelor : *a* — montarea unei baterii de 3 difuzoare ; *b* — adaptarea impedanțelor și puterii la 4 difuzoare ; *c*, *d* — schimbarea raportului intensității sunetului a două difuzoare.

Capitolul V

Lanțul electrofonic

În capitolul IV, figura 21, a fost prezentată schema bloc a unei instalații de sonorizare de casă, simplă față de un sistem electroacustic profesional, utilizat în instituții specializate cum ar fi : radiodifuziunea, sălile de concert, teatre, operă etc.

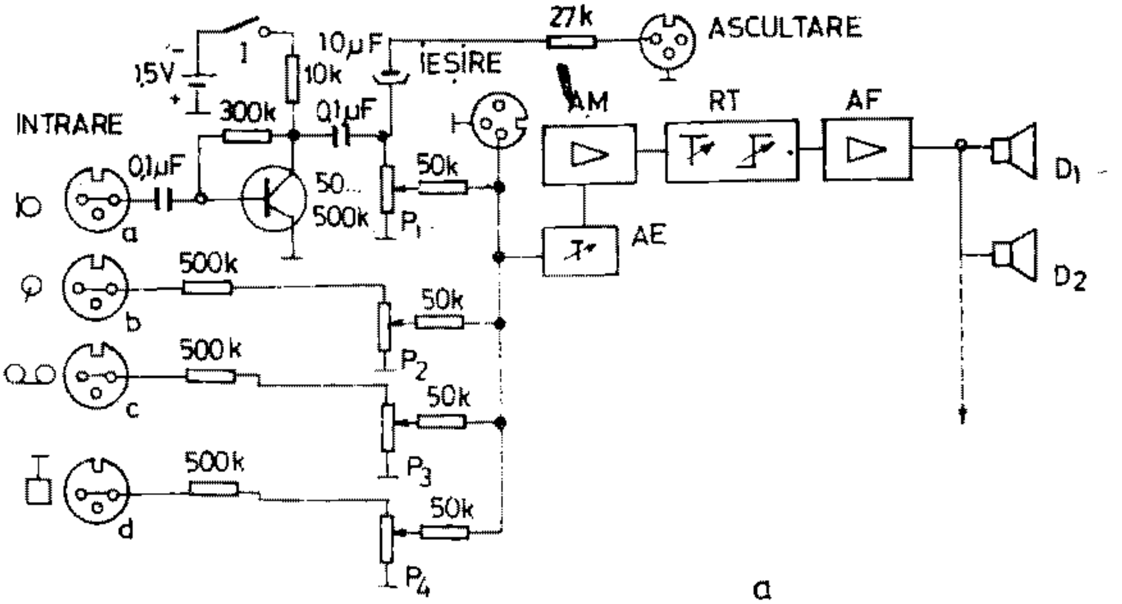
Ne vom referi în continuare la aparatura pentru amatori, portabilă sau fixă, cu o exploatare simplă și caracteristici satisfăcătoare, prezentînd totuși, în linii generale, și posibilitățile pe care le oferă aparatura profesională, deosebit de complexă, care pe lîngă obișnuitele înregistrări, amplificare, atenuare de sunete produce și efecte speciale acustice de condiționare a sunetului.

Instalațiile de sonorizare posedă în acest scop blocuri sau circuite distincte cu care se obține modificarea parametrilor sunetelor după program.

Cunoașterea funcționării acestor circuite, va fi de folos cititorilor care vor dori să le aplice cu posibilități și pretenții modeste, în montajele electrofonice propuse spre construcție.

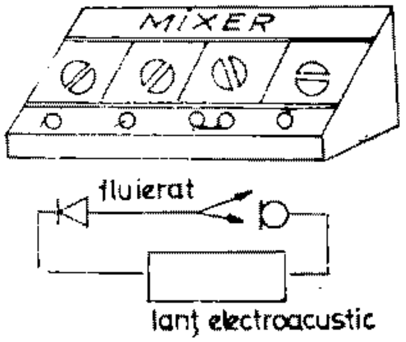
Din punct de vedere funcțional lanțul audio are o serie de circuite electronice ale căror componente au fost prezentate în capitolul IV.

— Legătura dintre sursa sonoră și lanțul electroacustic se realizează prin traductoare sau aparate de reproducere sonoră. Elementul de cuplaj îl constituie *preamplificatorul de amestec* (mixerul) care posedă mai multe mufe de intrare a semnalelor, independent sau simultan, fie de la sursele acustice de nivel mic (microfon), fie de la sursele cu nivel mare (picup, magnetofon și radio) ca în figura 35. De la preamplificatorul-mixer, trecînd printr-un atenuator *(At)*, semnalul este amplificat în blocul *AM*, puterea electrică necesară instalației fiind luată din redresorul alimentator conectat la rețeaua de curent alternativ. Semnalul cu putere mărită este dozat cu ajutorul filtrelor *(RT)* în privința frecvențelor joase și înalte, prin reglarea conținutului de armonici. Urmează o serie de blocuri, colaterale prin care se modifică parametrii sunetului, cu efecte speciale și deformări produse de blocul amplificator. Trecerea sunetului astfel prelucrat se face prin amplificatorul final *(AF)* spre difuzoare,



a

Fig. 35. Schema mixerului şi a blocurilor lanţului electroacustic: b — microfonul şi difuzorul aşezate „faţă în faţă" produc fluierat.



b

cuplate şi ele după diferite sisteme, în vederea obţinerii unei audiţii optime, cît mai puţin distorsionate.

Toate aceste operaţii de condiţionare a sunetului, se realizează la masa de regie, în instalaţii mari sau la un pupitru de comandă (masă de mixaj), în cazul instalaţiilor mai modeste.

Se menţionează că întrucît semnalul sonor trece prin atîtea blocuri este influenţat de zgomote care afectează inteligibilitatea, de aceea se iau măsuri de filtrare a acestor perturbaţii parazitare.

Pentru evitarea reacţiei dintre difuzor şi microfon, acestea nu se vor aşeza „faţă în faţă" deoarece se produc fluierături puternice, ci „spate în spate" la o oarecare distanţă, evitîndu-se astfel formarea buclei de influenţă.

Amplificatorul este unul dintre elementele de bază ale oricărei instalaţii de sonorizare, care primeşte semnalele de la mixerul — preamplificator, reglat la volumul necesar şi le transmite spre ieşire. Puterea amplificatorului depinde de numărul şi puterea componentelor active (tuburi sau tranzistoare) şi de

montajul în care lucrează. O putere mai mare se obţine construind mai multe etaje amplificatoare, în serie sau în paralel.

În literatura de specialitate există descrise nenumărate scheme de montaj pentru amplificatoare de diferite puteri. În figura 36, au fost alese o schemă de preamplificator universal şi o schemă simplă de amplificator cu două tranzistoare. Sînt simple, uşor de realizat şi folositoare pentru instrumentele electromuzicale propuse mai departe spre a fi construite.

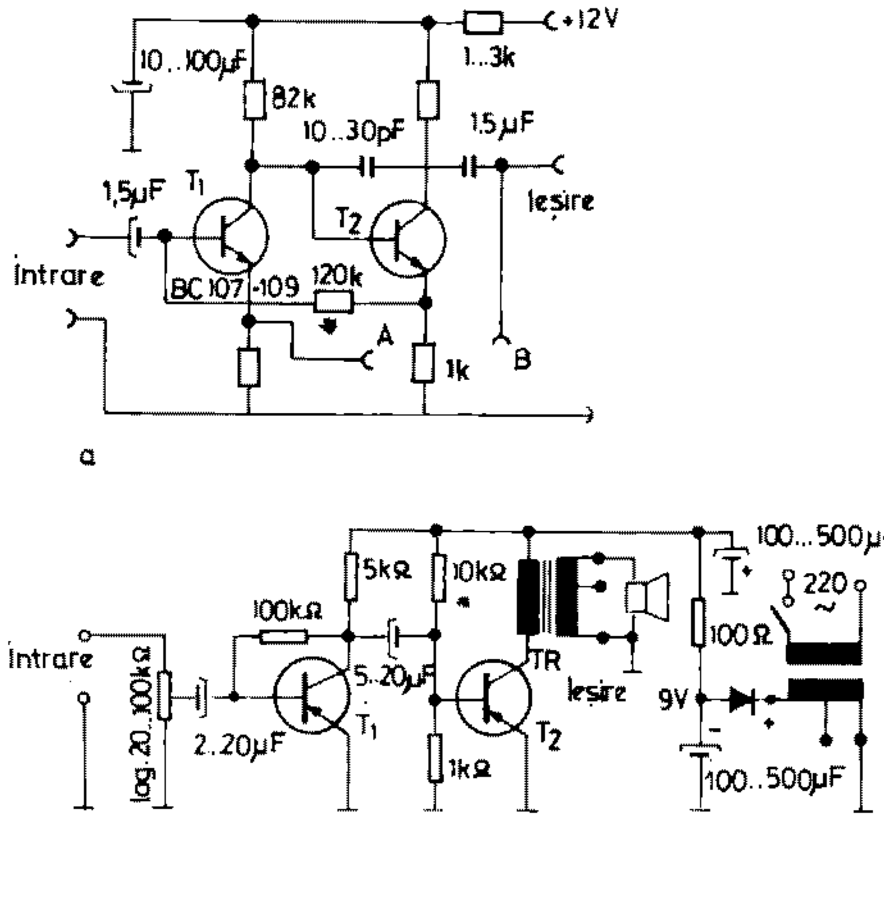


Fig. 36. Lanţul audio format dintr-un preamplificator universal *(a)* şi un amplificator cu două tranzistoare *(b)*.

Preamplificatorul (fig. 36, *a*) alcătuit din două tranzistoare de tip *npn* — T_1, primeşte polarizarea din căderea de tensiune de pe emitorul lui T_2. Dacă montajul autooscilează vor fi încercate diferite valori ale capacitorului între 10 . . . 30 pF. Între punctele *AB* se intercalează un circuit de reacţie negativă pentru a regla factorul de amplificare, funcţie de sursa de semnal de la intrare (microfon, cap magnetic de redare, picup). Rezistorul de reacţie negativă va avea 10 . . . 200Ω.

Amplificatorul (fig. 36, *b*) dat ca principiu pentru începători este simplu dar mulțumitor în utilizare.

Tranzistoarele *pnp*, cu germaniu de mică putere (EFT 323, 125, AC 127, AC 180) dau audiții satisfăcătoare în cameră. T_1 este un preamplificator în tensiune, T_2 un etaj final de putere. Etajele sînt cuplate RC. Alimentarea se face printr-un mic transformator de sonerie. Dioda redresoare poate fi F 407, D 7 G sau un tranzistor de putere, care are o joncțiune intactă.

La intrare se poate introduce un semnal de 150 . . . 300 mV (picup, casetofon, radio) și montajul deși nu are putere mare și nici reacție negativă, oferă o audiție de calitate.

Instalația de sonorizare trebuie să permită reglarea nivelurilor semnalelor provenite de la mai multe surse de program. Reglarea se face prin micșorarea (atenuarea) puterii electrice a semnalului. Elementele de circuit folosite în acest scop se numesc *atenuatoare* (fixe și variabile), constituite din două rezistoare sau un rezistor și un potențiometru.

Schimbarea timbrului se obține prin atenuarea puternică a unor armonici componente, specifice fiecărui sunet, cu ajutorul unor rețele denumite *filtre*, formate din capacitoare și bobine sau capacitoare și rezistoare constituind un cuadripol.

Filtrul „trece jos“ lasă să treacă frecvențele joase, iar filtrul „trece sus“ pe cele înalte. Mai există filtre trece bandă și filtre oprește bandă. Cu ajutorul lor se poate varia timbrul oricărei surse sonore.

Reglajul de ton este un dispozitiv care dozează cu ajutorul potențiometrelor frecvențele joase și înalte.

Oscilatorul electronic constituie un alt element de bază folosit în electroacustică și el va fi tratat în capitolul următor, cînd vor fi prezentate generatoarele de ton ale instrumentelor electromuzicale.

OBȚINEREA ȘI CONDIȚIONAREA SUNETELOR ELECTRONICE

Cu ajutorul microfoanelor și al traductoarelor directe, doza electromagnetică, banda magnetică și fiecare instrument sau solist pot deveni surse de program, care debitează semnale electrice, sub formă de oscilații sinusoidale constante. Aceste oscilații electrice dacă sînt „alterate“ atît ca amplitudine cît și ca frecvență rezultă efecte sonore cu largă aplicativitate în tehnica modificării parametrilor sunetelor cu diverse scopuri.

Multe efecte, de o infinită varietate, se pot obține în mod convenabil folosind montaje electronice simple, generatoare de ton, de obicei tranzistorizate și aplicate lanțului electroacustic.

În cele ce urmează vom urmări schema bloc din figura 37 în care sînt redate cîteva procedee pentru obținerea acestor efecte acustice.

Schema de principiu din interiorul unor blocuri va fi descrisă la construcția instrumentelor electromuzicale.

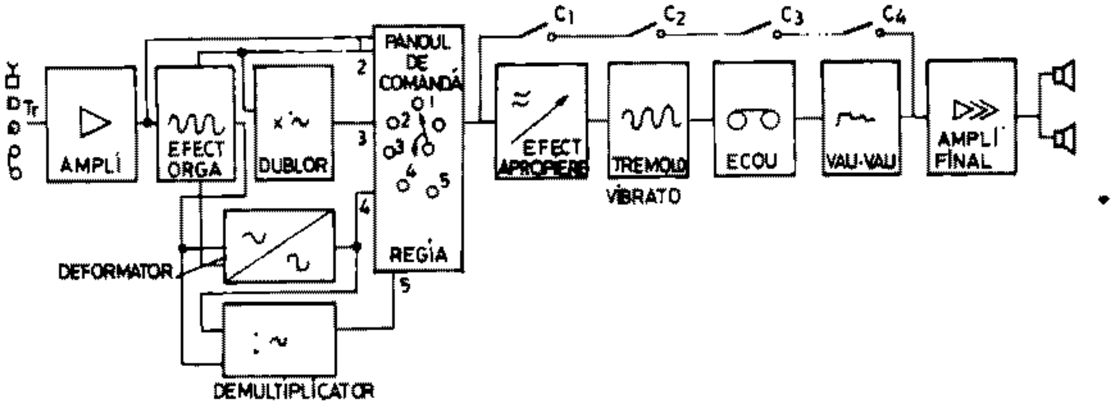


Fig. 37. Complex pentru modificarea parametrilor sunetelor cu blocurile de efecte sonore.

Semnalele culese de transductorul *Tr*, pătrund în amplificatorul liniar, de unde, ieșind cu o putere mai mare, sînt repartizate prin comutatorul *Co* către elementele din lanțul de sonorizare.

Efectul de orgă se obține pe poziția *2*. Acest element are ca părți componente următoarele : preamplificator, element de variere a constantei de timp, amplificator de reglaj automat al amplitudinii semnalelor cu circuitul respectiv (fig. 38).

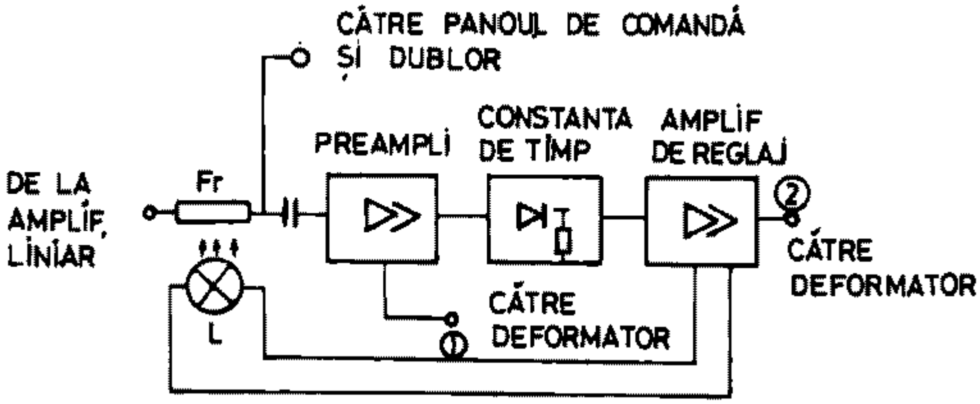


Fig. 38. Scheme bloc „efecte de orgă".

Din amplificatorul liniar, semnalele atacă fotorezistorul *Fr* și sînt preluate de preamplificator, apoi de elementul „constanta de timp" unde i se stabilește timpul de formare și stingere a amplitudinii oscilațiilor. Ultimul amplificator de reglaj debitează pe blocul deformator și în circuitul lămpii cu incandescență *L* montate comun cu *Tr* (optocuplor).

Deformatorul produce o schimbare fundamentală a semnalului sinusoidal și îl amplifică, îmbogățindu-i spectrul de armonici. Cu ajutorul unui circuit basculant semnalele electrice sinusoidale sînt transformate în semnale dreptunghiulare, cu armonici impare.

Dublorul permite obținerea și a armonicilor pare, acționînd prin trei etaje : amplificator, defazor și dublor. Prin efect de redresare se obțin semnale cu frecvență dublă față de cele de la intrare.

Demultiplicatorul funcționează cu semnalele dreptunghiulare produse de deformator.

Remultiplicarea se face cu un circuit basculant bistabil comandat de impulsurile ascuțite, obținute din semnalele dreptunghiulare sosite de la deformator.

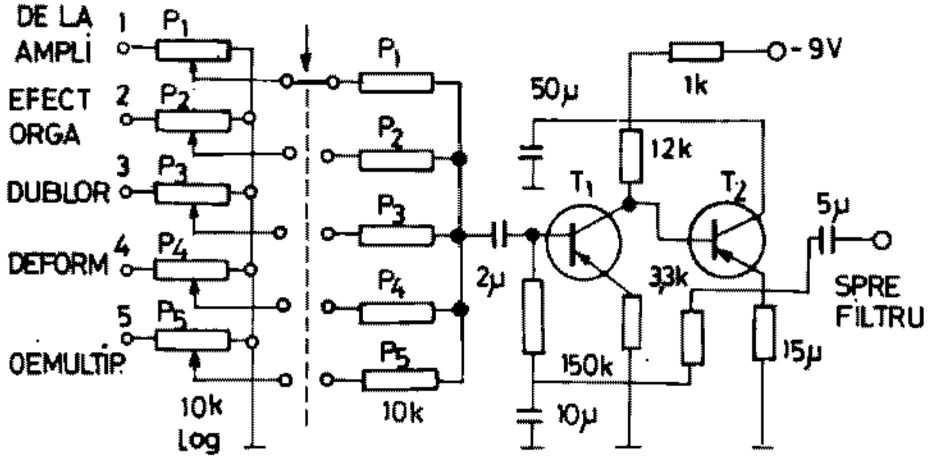


Fig. 39. Schema electrică a mixerului din panoul de comandă.

Panoul — mixer primește prin comutatorul *Co* cele cinci semnale de la blocurile din stînga sa, de unde pot fi transmise separat sau mixate mai departe în panoul de comandă. Schema electrică a unui mixer este redată în figura 39. Are un amplificator cu două etaje care permite compensarea unor atenuări intervenite în elementele de mixer. Potențiometrele $P_1 \ldots P_5$ permit reglarea amplitudinii semnalelor.

Efectul de apropiere se obține cu ajutorul unui filtru *RC* în trepte cu care se pot elimina armonici inferioare sau superioare ale semnalelor. Acest efect produce impresia unei „apropieri" a ascultătorului de sursa sonoră. Filtrul este prevăzut cu 6 potențiometre pentru dozarea efectului.

Efectul tremolo este o noțiune oarecum diferită de aceea de „vibrato" *Tremolo* este obținut pe cale electronică, deși este sesizat de organul auditiv ca fiind apropiat de *vibrato*, obținut pe cale mecanică, acționînd cu degetele pe o coardă în vibrație, într-un anumit ritm.

Tremolo și vibrato se definesc ca fiind un mijloc artistic de a obține un sunet compus, modulat în amplitudine, care sparge monotonia sunetelor obișnuite.

Semnalul sonor, transformat în semnal electric prin traductor, este modulat (amestecat) cu un semnal de joasă frecvență cuprins între 3 . . . 10 Hz și se va auzi la ieșirea din amplificator un sunet ușor „tremurat" devenit „efect tremolo".

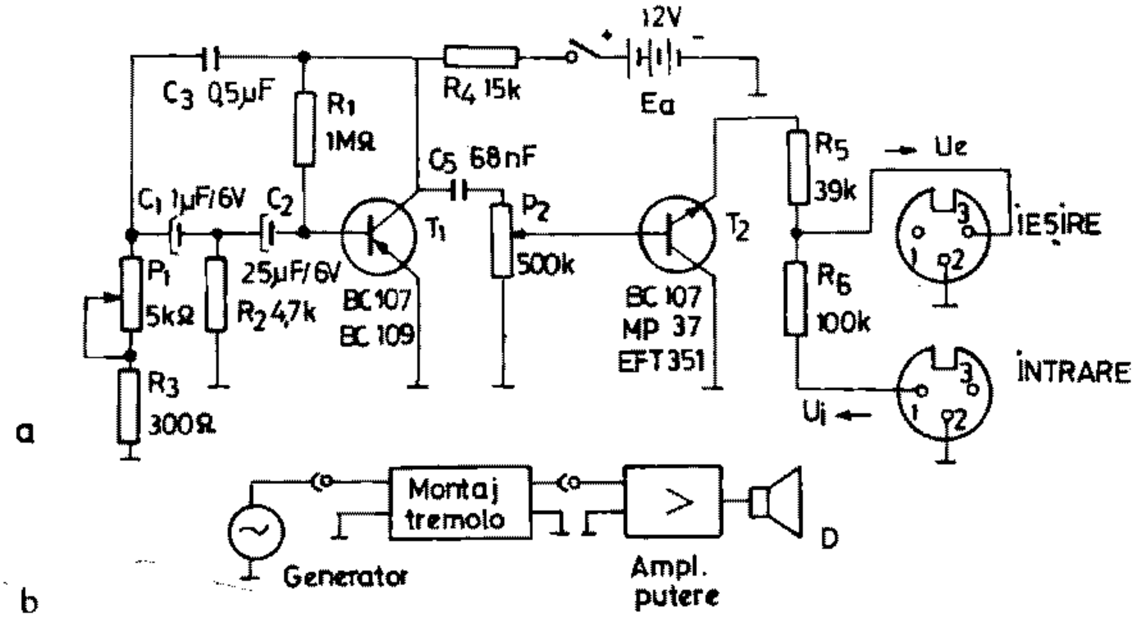


Fig. 40. Schema „efect tremolo" prin divizare potențiometrică a semnalului (*a*) și locul lui în montajul lanțului sonor (*b*).

Există mai multe scheme de principiu pentru obținerea efectului tremolo : prin divizare potențiometrică a semnalului (fig. 40, *a*) ; modularea tensiunii de colector ; modularea tensiunii bazei sau emitorului și schemă cu fotorezistență impresionată de lumina modulată a unui bec (sistem fotocuplor).

Montajul din figura 40, *b* se plasează între generatorul de sunet (chitară electrică, orgă, microfon) și amplificatorul de putere. T_1 este un oscilator *RC* care generează o frecvență joasă (1—9 Hz) în funcție de potențiometrul P_1. Semnalul sinusoidal este introdus potențiometric pe baza lui T_2, care este alimentat la colector și bază cu tensiuni alternative : pe bază — tensiunea oscilațiilor produse de T_1 iar pe colector tensiunea semnalelor muzicale aplicate prin R_5 și R_6 (divizor de tensiune) la intrare. Semnalul la ieșire va depinde ca amplitudine de valoarea tensiunii de polarizare aplicate pe baza lui T_2.

Efectul „ecou" este o reverberație artificială. Cu alte cuvinte un efect care dă impresia că se execută o piesă muzicală sau se vorbește într-o sală închisă. Se știe că înregistrările de sunet efectuate într-un studio sînt fără ecou, datorită reverberației mici a studioului, insonorizat special. Reverberația artificială se recomandă a se adăuga sunetului în timpul mixajului pentru vorbă cît și pentru celelalte componente ale programului sonor.

O sală neamenajată pentru înregistrarea sunetului va da doar o reflexie (întîrziată) care încurcă sunetul, în timp ce ecoul se caracterizează printr-o repetare clară a sunetului (Vezi cap. II).

Pentru efectul de reverberație (efect de sală) și ecou numai la redare, se poate monta la un magnetofon, un cap suplimentar, în paralel cu capul de redare al magnetofonului, dar nu se mai poate doza nivelul dintre semnalul direct și cel întîrziat (fig. 41, *a*, *b*).

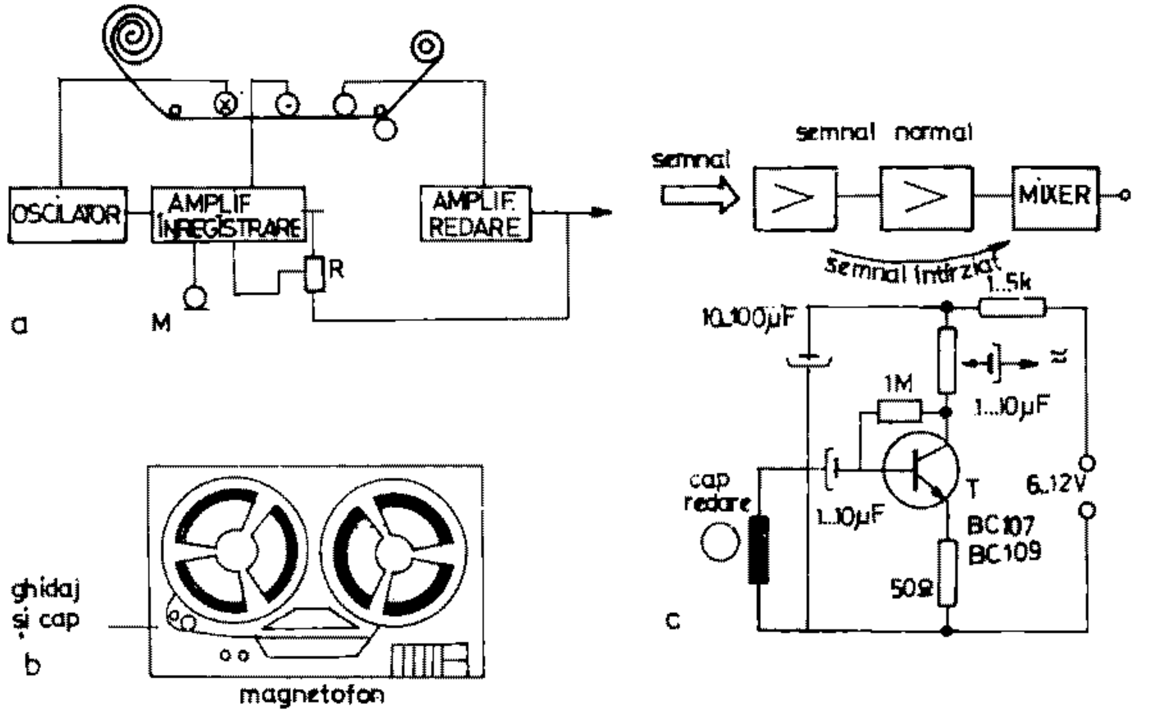


Fig. 41. Schema de realizare a reverberației artificiale (efect de sală) și a ecoului cu ajutorul magnetofonului.

O soluție mai eficientă constă în construirea unui preamplificator al capului suplimentar de redare, după schema din figura 41, *c*. Tranzistorul este cu siliciu de tip *npn* seria BC sau echivalent.

În paralel cu rezistorul de sarcină 1 . . . 5 k, se poate monta un capacitor de 20 . . . 50 nF pentru o egalizare a curbei de răspuns (caracteristică de frecvență).

Potențiometrul semireglabil de 5 k va fi reglat și semnalul preluat se transmite la capătul „cald" al potențiometrului de volum al magnetofonului.

În general se recomandă magnetofoane cu viteza de 19 cm/s pentru obținerea efectului de ecou.

Durata ecoului și a reverberației depind de viteza de antrenare a benzii și de distanța dintre cele două capete de redare.

Dacă magnetofonul are mai multe viteze, la viteza de 19 cm/s se obţine o reverberaţie mai scurtă, la 9,5 cm/s o reverberaţie lungă, iar la 4,76 cm/s ecou lung.

Folosind mai multe capete de redare se pot obţine combinaţii de „ecou multiplu".

Efectul vau-vau, denumit şi „orăcăitul broaştelor" este mult folosit în muzica de estradă şi se mai numeşte în literatura de specialitate şi efect vah-vah sau vaa-vaa. Acesta se poate realiza cu montaje electronice simple, folosite sub forma unor adaptoare, fie ca bloc component aparte.

Efectul vau-vau se obţine prin variaţia, după dorinţă a selectivităţii unui amplificator, nu pe întreaga bandă ci în frecvenţele de mijloc 400 . . . 1 500 Hz. Pentru aceasta există mai multe soluţii tehnice.

Practic se folosesc două tipuri de scheme : una care atenuează o frecvenţă de rezonanţă şi alta cu ajutorul unui circuit *RC* cuplat în bucla de reacţie, între colectorul celui de al doilea tranzistor şi baza primului tranzistor.

Schema cu circuit rezonant serie L_1C_1, montat în baza celui de al doilea tranzistor are la rezonanţă, după cum se ştie, o rezistenţă cu o valoare apropiată de zero.

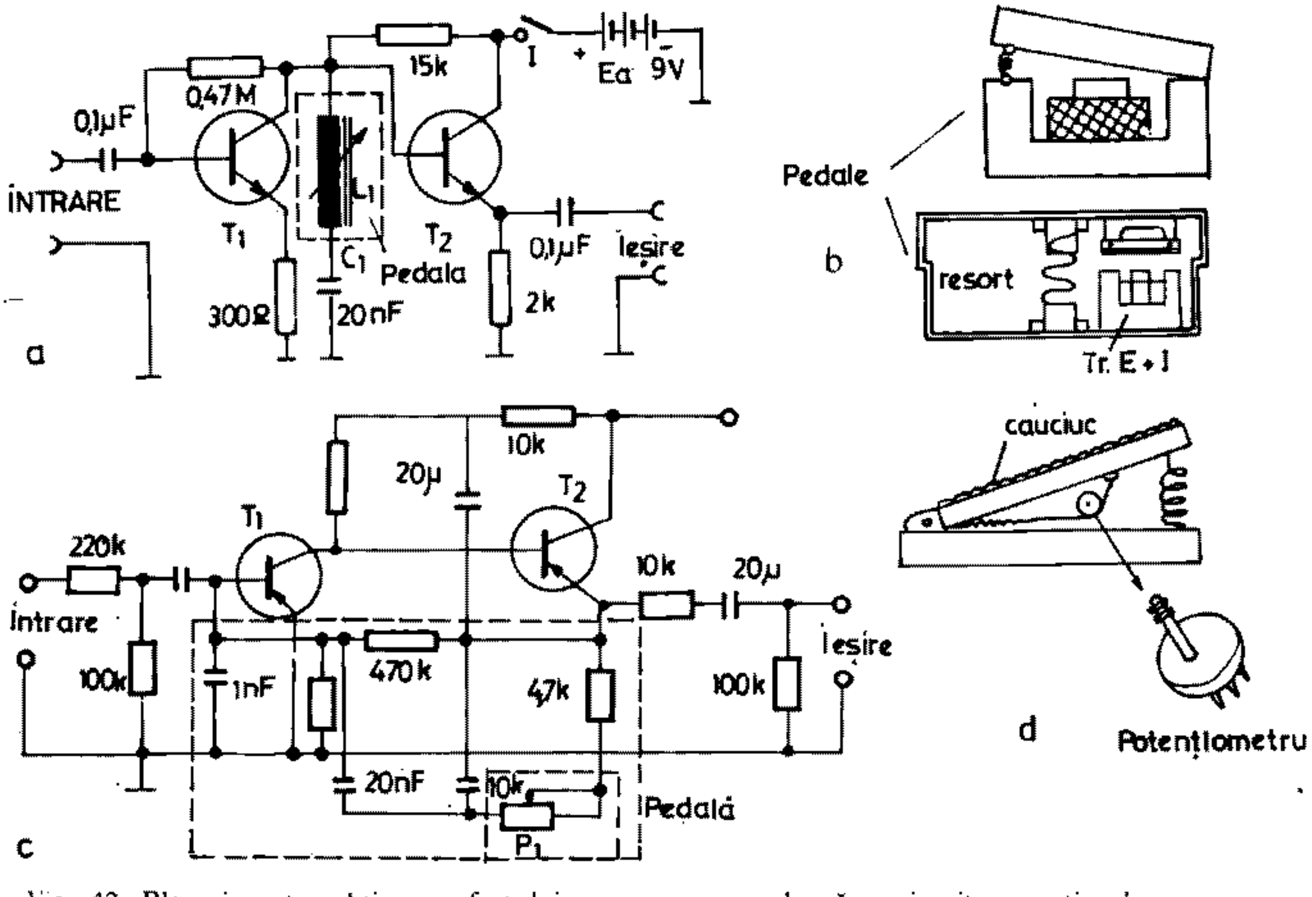


Fig. 42. Blocuri pentru obţinerea efectului vau-vau : *a* — schemă cu circuit magnetic ; *b* — pedală ; *c* — schemă cu elemente RC . *d* — pedală cu potenţiometru.

Semnalul aplicat pe baza primului tranzistor, polarizat prin $R = 0{,}47\ M\Omega$, este cules de pe emitorul celui de al doilea tranzistor, montat ca repetor. În drumul său, semnalul străbate circuitul L_1C_1, a cărui inductanță poate fi variată (reluctanță variabilă), prin apropierea sau îndepărtarea brațului *I* al transformatorului $E + I$ din „pedala", în două variante (fig. 42, *a*).

Construcția pedalei cu inductanță variabilă este redată în figura 42, *b* și se confecționează din scîndură de 1 . . . 2 cm grosime. Între pedală și postamentul cutiei se montează un resort pentru readucerea în poziția ridicată, cînd inductanța *L* este minimă. Pachetul de tole, tip $E + I$ va avea 2—3 cm² secțiune. Bobinajul are 2 500 de spire, cupru emailat cu diametrul de 0,15 mm.

Prin acest sistem se asigură o modificare a inductanței de 10 ori, iar a frecvenței de circa trei ori, variația rezonanței fiind în banda 400 . . .1 500 Hz. Tranzistoarele sînt de tipul EFT 351, AC 151 etc.

Conexiunile „intrare" și „ieșire" se vor face cu cablu ecranat (de microfon) prin mufe speciale.

Varianta cu miez de ferită, sub formă de bară, de la antenele de radiorecepție ocupă spațiu mai mic. Se bobinează pe o carcasă de masă plastică cu diametrul puțin mai mare ca al barei de ferită, 8 000 spire de sîrmă de cupru emailat, de 0,1 mm diametru și se rigidizează cu sacîz topit, aceasta fiind o bobină cu miez variabil, tot cu ajutorul unei pedale.

— Sistemul cu circuit *RC* (fig. 42, *c*) este mai simplu constructiv, întrucît pentru varierea frecvenței de selectivitate, elementul de reacție negativă în *T*, cuprinde rezistoare și condensatoare.

Cu ajutorul potențiometrului P_1 de 10 k se obține o deplasare a frecvenței de selecție și apare efectul vau-vau ca și în cazul inductanței variabile. Potențiometrul este montat la un dispozitiv mecanic tot ca o pedală cu resort, care rotește cu o sfoară întinsă de un resort și înfășurată de două ori pe axul potențiometrului (fig. 42, *d*).

Efectul UI, reprezintă sunete care nu sfîrșesc cu amplitudine constantă, ci cu o muzicalitate asemănătoare silabei *ui*.

Este realizat cu un montaj multivibrator al cărui semnal rezultat din funcționarea lui se aplică printr-un potențiometru la intrarea amplificatorului de joasă frecvență.

Cînd semnalul dispare din exterior, multivibratorul continuă să oscileze însă pe o frecvență din ce în ce mai ridicată pînă la stingerea totală, auzindu-se un sunet asemănător silabei UI.

Efectul FUZZ se produce prin limitarea timpurie a amplitudinii semnalului și se aplatizează (distorsionat). Sunetul afectat de acest efect devine bogat în armonici, căpătînd o nuanță metalică. Practic se introduce o reacție negativă puternică care limitează tensiunea de alimentare a montajului, semnalul devenind din sinusoidal, la o formă dreptunghiulară. Locul montajului FUZZ într-un lanț de sonorizare este cel ocupat de montajul efectului TREMOLO (Vibrato).

Din toate aceste efecte descrise mai sus cele mai utilizate în orga electronică sînt : *tremolo*, *FUZZ* și *„vocea umană“* și uneori *UI*.

Amplificatorul final este ultimul bloc (fig. 37) din lanțul de sonorizare, care se cuplează cu unul sau mai multe difuzoare. Este un amplificator de putere, cu un nivel mic de distorsiuni, spre a reda cît mai fidel întreaga paletă a muzicii electronice moderne.

Capitolul VI

Adaptoare și imitații sonore

Electrotehnica și electronica dezvoltîndu-se vertiginos a intervenit în ultimul timp și în domeniul muzicii, ca electrofonie (electroacustică), pe mai multe căi :

1) folosind ca organ final traductorul de tip difuzor radio (începînd cu anul 1921, precum și casca telefonică (fig. 43, *a*) ;

2) plasînd între executant și difuzor un aparataj electric compus dintr-un traductor (microfon, doză electromagnetică sau piezoelectrică), pentru transformarea vibrațiilor sonore în semnale electrice, pe care le amplifică și le redă prin difuzor sub formă de unde sonore (fig. 43, *b*) ;

3) producînd sunete care imită diferite instrumente, sau grupe de instrumente pe bază de oscilator electronic, care amplificate de asemenea sînt redate prin difuzor ;

4) generînd sunete cu totul noi, nemaiauzite, precum și introducerea de efecte și imitații fie manual, fie pe baza unei tehnici de calcul cu program inițial, prevăzute de către compozitor.

În lucrarea de față, s-au dat în capitolul V (fig. 37) exemple de obținerea și introducerea efectelor sonore pe sunetul original, iar în continuare vor fi descrise cîteva tipuri de montaje și instrumente, menționate la punctele 2, 3 și 4 cît mai simple, în vederea posibilității de a fi construite ușor.

După cum se poate deduce instrumentele muzicale electrofonice sînt de două feluri :

— electrice, la care sunetele sînt generate de vibratoare obișnuite (coarde, ancii, lame metalice, fără cutie de rezonanță — instrumente „schelet") și apoi amplificate electric ;

— electronice propriu-zise, la care sunetele sînt produse artificial (prin generatoare electrice de frecvență vocală) sau în alte cazuri cu dispozitive mecano-electrice bazate pe efectul fotoelectric (orgi, sintetizatoare).

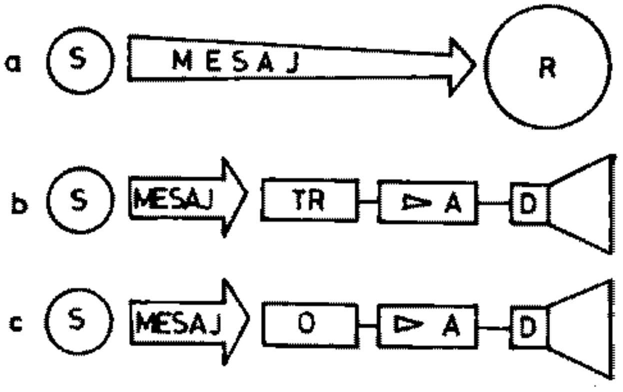


Fig. 43. Transmiterea mesajului sonor: a — direct de la sursa *S* la receptorul *R*; *b* — semi-electronic prin traductor *Tr*, amplificator *A* și difuzor *D*; *c* — electronic prin oscilator *O*, amplificator *A* și difuzor *D*

Interesant este faptul că instrumentele muzicale electrice, numite și semi-electronice, au în comun cu cele electronice doar sistemul de amplificare a sunetelor (circuite cu tuburi sau tranzistoare) precum și sistemul de radiație sonoră (difuzorul). Concluzia unanimă este că instrumentele electronice prezintă un interes mult mai mare, primele fiind doar *adaptări*, un fel de variante „electrificate", pe cînd cele electronice sînt construcții noi, creatoare de sunete originale, specifice, necunoscute, în mii de variante și combinații posibile, prin imitații.

ADAPTOARE

Chitară rece „electrificată" este tipul instrumentului muzical semi-electronic. Adaptarea fonocaptorului la orice instrument cordofonic este posibil printr-o doză electromagnetică sau un cristal de doză pizoelectric folosit la picup.

Datele constructive și montarea lor pe chitară sau vioară sînt redate în figura 44. Pentru a construi un traductor electromagnetic se dau două variante : cu magneți permanenți și cu electromagneți de căști radio (fig. 44, *a*).

Armătura electromagnetică se decupează din tablă de fier de 2 . . . 3 mm grosime, la forma și dimensiunile prezentate în desen (fig. 44, *b*). Forma este de *L* sau *U*, pe care se va monta magnetul NS confecționat din 6 piese, dintr-un magnet ceramic, de la un difuzor defect. Acestea se lipesc între ele cu un adeziv (lipinol, prenadez) astfel ca magnetul rezultat să aibă polii de același fel pe aceeași parte.

Carcasa bobinei se construiește din material plastic sau carton de 0,5 mm, pe care se înfășoară sîrmă — cupru emailat Ø 0,1 mm, pînă la umplere, capetele fixîndu-se la o extremitate cu două cose.

Cutia de protecție și legarea ei, cu o centură de prindere pe corpul chitarei, se face astfel ca unul din poli să fie sub corzile chitarei. Legătura bobinei la amplificatorul construit special sau la bornele de picup ale radioreceptorului se realizează ușor.

Al doilea model de doză electromagnetică se poate realiza folosind electromagneți proveniți de la căștile de radio cu rezistență mare (fig. 44, *c*)

fixați pe o placă izolatoare groasă de 2 mm. Cutia de protecție se face conform dimensiunilor montajului indicat, iar legătura dintre traductorul sunet-curent și amplificator se va face cu cablu blindat (microfonic), spre a nu introduce zgomot de fond.

Rezultatele obținute cu aceste traductoare electromagnetice sînt modeste : sensibilitate scăzută, banda de frecvență îngustă și introduce zgomote supărătoare.

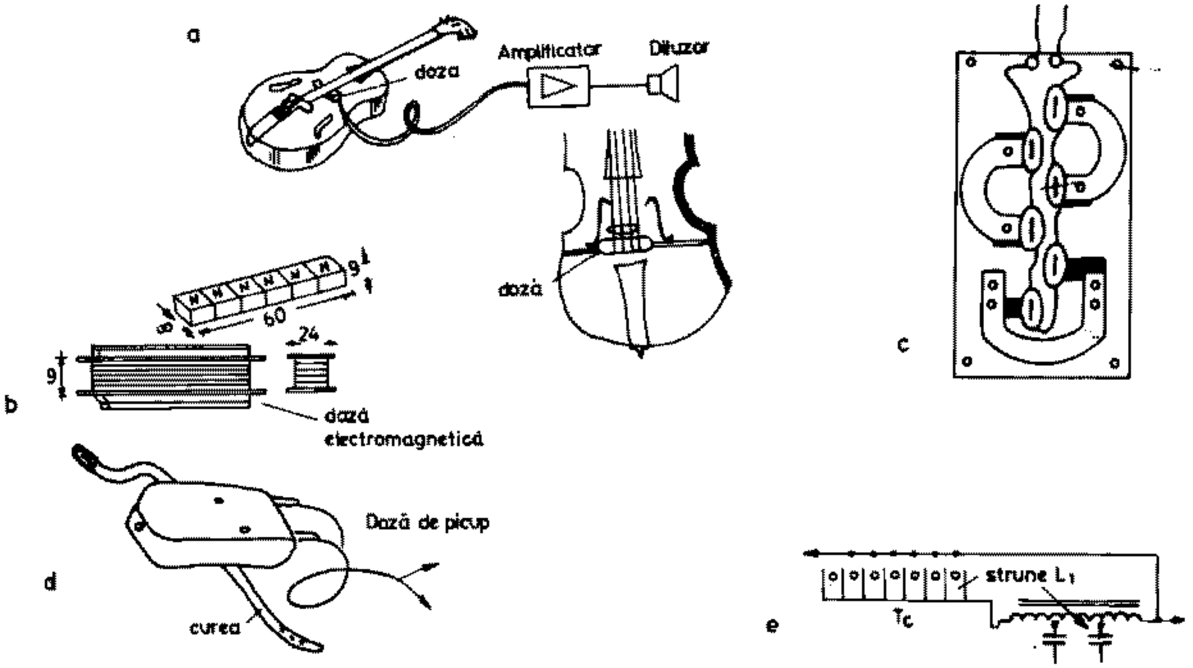


Fig. 44. Chitară și vioară electrificate : *a* — locul amplasării dozei ; *b* — doză electromagnetică ; *c* — doză electromagnetică de la casca telefonică ; *d* — doză piezoelectrică ; *e* — doză capacitivă.

Doza piezoelectrică este mai sensibilă și culege vibrațiile mai bine. Cristalul piezoelectric (din sare de Seignette — tartrat dublu de sodiu și potasiu, fosfat de amoniu sau ceramică din titanat de bariu) are proprietatea ca sub efectul unor deformări mecanice să producă curent electric prin așa-numitul „efect piezoelectric" și invers : aplicîndu-i o tensiune alternativă la borne să oscileze. Utilizarea acestui fenomen este foarte largă, la microfoane, difuzoare, doze de picup, oscilatoare electronice de frecvențe joase, înalte și ultraacustice (fig. 44, *d*).

O doză de picup, eventual cu acul deteriorat, uzat dar cu cristalul intact, fără fisuri, poate fi folosită cu succes la confecționarea traductorului pentru chitară. Are avantajul că poate fi fixat în orice loc pe cutia de rezonanță a instrumentului, preferabil pe partea cu coarde.

Doza de picup trebuie mai întîi fixată într-un locaș practicat într-o gumă de desen, prin scobire, astfel încît suportul acului să nu o atingă. Doza se lipește cu un adeziv, pe toată suprafața ei apoi se matisează tot ansamblul cu ață de cusut și se acoperă cu un lac.

După uscare, se învelește guma și doza cu o foiță de staniol, izolînd contactele dozei, care ies în afară. Ecranul dozei se matisează cu cîteva spire de sîrmă dezizolate, de 0,1 . . . 0,3 mm ; capătul sîrmei se leagă la una din bornele dozei, capăt care se va lega la ecranul cablului de legătură cu amplificatorul.

Plasarea traductorului pe suprafața cutiei chitarei se face puțin presat prin lipire de corpul chitarei.

Doza cu cristal poate fi folosită la orice tip de amplificator cu tranzistoare, care are primul etaj de amplificare cu sarcină pe emitor, ceea ce prezintă o impedanță destul de mare.

Doza piezoelectrică trebuie ferită de lovituri și de schimbări bruște de temperatură.

Doza capacitivă, o variantă mai puțin cunoscută necesită un amplificator special mai greu de construit de amatorii începători. Redăm numai principiul de funcționare (fig. 44, *c*), care este simplu dar original.

Traductorul capacitiv *Tc*, montat în derivație cu inductanța în miez variabil. Prin vibrațiile coardelor chitarei se modifică și capacitatea *Tc* (strună—nituri de tablă de alamă) și implicit frecvența oscilațiilor generate de circuitul $L_1 Tc$ în limite largi, asemănător cu banda de transmisie audio care este amplificată și corectată înainte de redare, de către un circuit detector de raport (discriminator). Acest sistem este cel mai sigur în exploatare.

Efecte speciale pentru chitară (tremolo sau vau-vau) pot fi aplicate între preamplificatorul chitarei și amplificator (fig. 45).

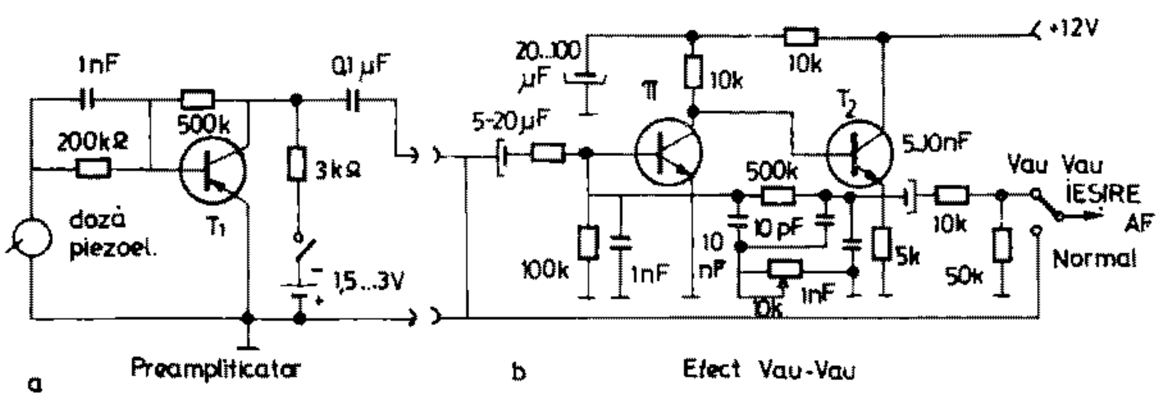


Fig. 45. Chitară cu doză : *a* — cu bloc de efect „vau-vau" ; *b* — aplicată la doza piezoelectrică.

Preamplificatorul poate fi folosit pentru o doză piezoelectrică și tranzistorul poate fi de joasă frecvență, *pnp*, de mică putere EFT 367, MP 10, 2N 270, OC 26, AC 180 (fig. 45, *a*).

Blocul-efect vau-vau, cu tranzistor BC 107 . . . BC 327 este pus în oscilație prin manevrarea potențiometrului semireglabil (10 k) cuplat cu emițătorul lui T_2, din grupul *RC*, în dublu *T*. În acest mod se pot obține sonorități din cele mai diferite. Pentru scoaterea din circuit a efectului s-a prevăzut la ieșire un comutator pentru poziția „sunet normal" (fig. 45, *b*).

Chitară-orgă electronică. Montajul din figura 46, adaptat la chitară, cu doză piezoelectrică dă o notă aparte muzicii, cu sunete lungi, ca de orgă. Se poate aplica și la alte instrumente.

Semnalul emis de chitară este amplificat, redresat și filtrat cu T_1, T_2, T_3, D_1, D_2 respectiv cu C_6, R_9, C_7 și aplicat diodei D_3, analog cu tensiunea aplicată prin pedala diodei D_3 dintr-un montaj de volum pentru comanda la distanță a unui amplificator.

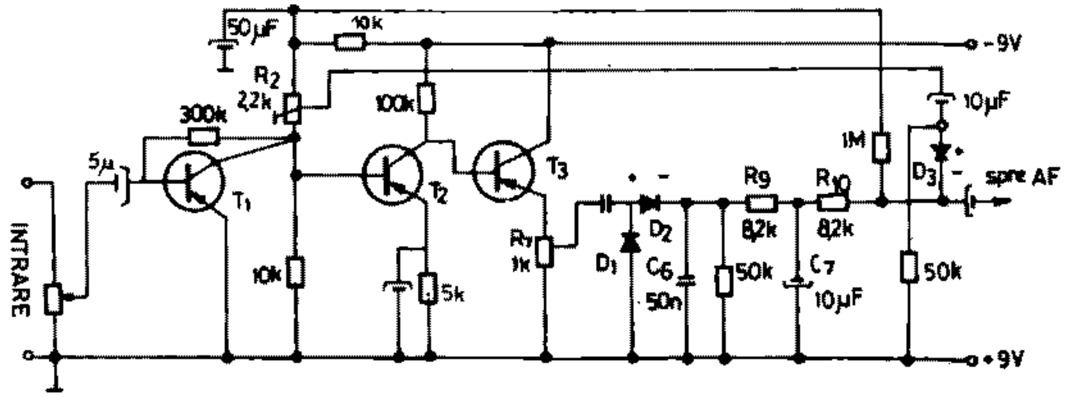


Fig. 46. Bloc „efect de orgă" pentru chitară și alte instrumente.

Același semnal amplificat, cules de pe R_2 este aplicat tot diodei D_3, care datorită tensiunii primite prin R_{10} îl va atenua mai mult dacă amplitudinea lui este mai mare și mai puțin dacă este mai mică, realizîndu-se o uniformizare a lui, în felul efectului de *compresiune dinamică* la înregistrările pe magnetofon, cu nivel constant.

Tranzistoarele pot fi : T_1 (EFT 306, 308, 351–353), T_2 și T_3 (EFT 353, 321, P 43, P 14) ; D_1–D_2 (punctiforme Ge) ; D_3 (siliciu D 220, D 810, Dz 308).

Potențiometrele semireglabile R_2–R_7 se vor regla experimental pentru obținerea clară a efectului. Montajul va fi ecranat într-o cutie cu tablă de aluminiu.

„Tremolo" pentru chitară. Intercalat între preamplificatorul chitarei și borna de picup a unui radioreceptor, montajul simplu din figura 47, avînd numai două tranzistoare, alimentate tot din sursa preamplificatorului sau separat, produce cunoscutul sunet „vibrato" al instrumentelor clasice cu coarde.

Frecvența oscilatorului RC, într-o schemă cu inversiune de fază, poate fi variată între 2 . . . 5 Hz cu ajutorul potențiometrului de 10 kΩ. Semnalul de joasă frecvență se aplică prin potențiometru pe baza lui T_2 care nu este polarizat. Tensiunea amplificată se mixează cu cea dată de preamplificatorul chitarei modificîndu-i parametrii și poate ataca amplificatorul final prin capacitorul de 0,1 μF.

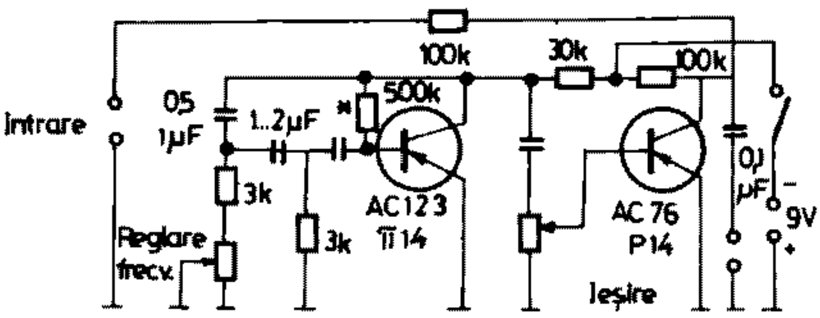


Fig. 47. Generator „tremolo" pentru chitară.

Instrumente fără cutie de rezonanță. Se pot realiza şi instrumente „schelet", avînd doar strune întinse pe o scîndură de forma oricărui instrument cordofonic (mandolină, banjou, balalaică, vioară, violoncel şi chiar... contrabas). Aceasta datorită faptului că sunetul este cules de doza electromagnetică, din fluxul magnetic variabil (reluctanță), care străbate electromagnetul datorită vibrației strunelor metalice în fața pieselor polare. Apar în bobinele electromagneților tensiuni alternative proporționale cu frecvența şi amplitudinea vibrației coardelor, întocmai ca la o cască telefonică la care membrana vibrează în fața electromagneților ei.

Se pot imagina instrumente sub forma unei simple bare de lemn cu coarde (violoncel) ca în figura 48, *a*, avînd calități asemănătoare cu ale fratelui său... obişnuit şi îl înlocuieşte cu succes. Acest instrument muzical, atît de simplu, devine amuzant pentru invitații noştri. Îi trebuie corzile instrumentului respectiv şi poate fi transformat pe dată în orice alt model, cu lățimea „căluşului" cerută de numărul corzilor. Lungimea instrumentului se dă în funcție de lungimea strunelor. Este recomandabil ca distanța între strune să fie normală, ca la instrumentele clasice, spre a evita erorile la interpretare.

Instrument cu o singură strună. Marii interpreți reuşesc să cînte melodii pe o singură strună la violină. Se povesteşte că Paganini, într-o seară la concert a venit cu trei strune pilite şi în timpul executării unei piese de mare

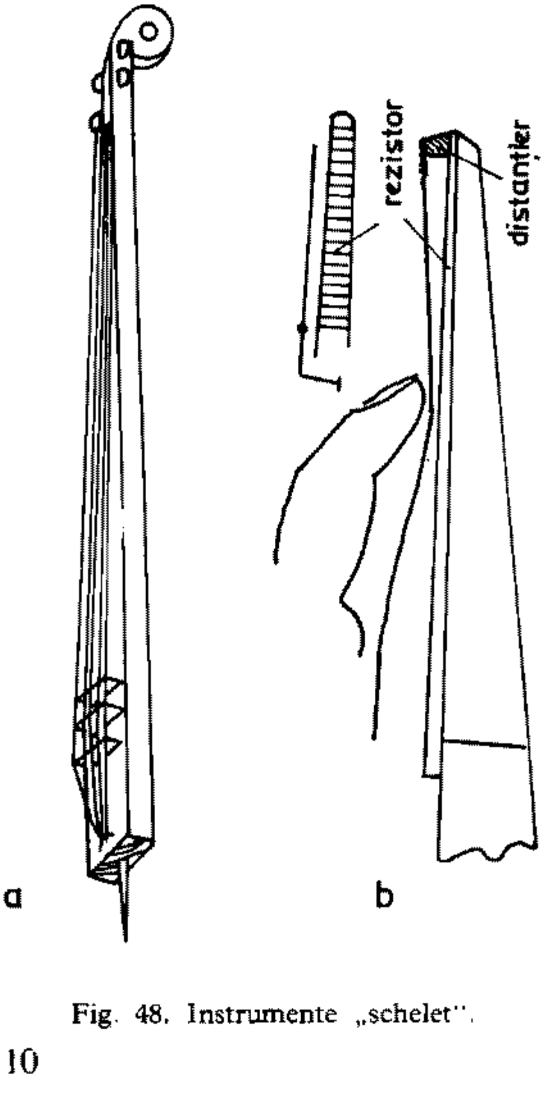


Fig. 48. Instrumente „schelet".

virtuozitate, acestea au plesnit. Maestrul a continuat să cînte pînă la sfîrșit piesa doar pe struna „sol", cu același succes, fiind viu aplaudat.

La plecare, a luat o trăsură și birjarul cînd a ajuns cu marele violonist în fața casei, după primirea taxei de călătorie s-a arătat nemulțumit. „Maestre, ați cîntat doar pe o strună și ați fost plătit atît de mult, dar eu ?..." — „Bine, zise Paganini, cînd vei merge și tu cu trăsura pe o... roată îți voi plăti dublu".

Si non e vero...

Dar ce este adevărat este faptul că se poate cînta pe o strună... electronică. Procurați o coardă metalică împletită și groasă de violoncel, nota „Sol" și o plasați pe bară de lemn asemănătoare cu cea din figura 48, *a*. Pe bară veți plasa o placă de material izolant, pe care ați bobinat spiră lîngă spiră, un rezistor de circa 20 kiloohmi (fig. 48, *b*). În locul acestui sistem se poate folosi o placă de alamă sau metal inoxidabil care se lipește pe bara schelet și în acest caz se înfășoară pe o sfoară pescărească sau cismărească de 1 . . . 2,5 mm diametru, o sîrmă rezistivă de nicrom de 1 000 ohmi/metru, pe distanță de 50 cm, rezultînd un rezistor tot de 20 kiloohmi. Struna astfel terminată se montează deasupra plăcii de metal, la o distanță de 1 . . . 2 mm, cît să se atingă prin apăsare cu degetul.

Cele două capete, al strunei și cel al plăcuței, se conectează la un montaj oscilator, cu un tranzistor ca în figura 49. Apăsarea pe strună schimbă, prin mișcarea „glisando" (alunecare) frecvența oscilatorului cu reacție obținută prin cuplaj inductiv realizat prin intermediul transformatorului T_1.

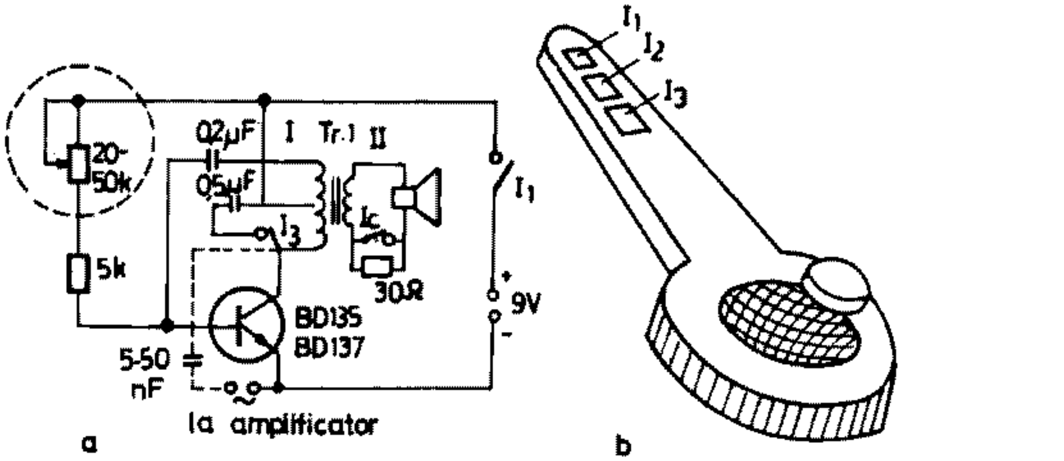


Fig. 49. Oscilator cu reacție pentru instrumente cu o strună rezistivă (*a*) și banjo electronic (*b*).

Struna se conectează în locul potențiometrului de 20 . . . 50 kiloohmi, care modifică polarizarea bazei tranzistorului. Semnalul cules de pe colector se aplică prin capacitor (care oprește și componenta de curent continuu dintre bază și colector) pe bază. Modificînd valoarea capacitorului de 0,2 μF, se

pot schimba octavele de lucru ale montajului, dînd un timbru mai gros sau mai acut (fig. 49, *a*).

Transformatorul se realizează pe un miez cu tole cu secţiunea de 3–4 cm². Primarul va avea 1 200 spire cu priză la 600 de spire, din sîrmă de cupru emailat de 0,2 mm diametru, iar secundarul — 45 spire cu Em 0 . . . 0,8 mm. Între înfăşurarea primară şi secundară se va pune un strat de hîrtie izolatoare.

Instrument fără... nici o strună. Este posibil să cînţi măcar pe o strună, dar fără nici una e mai greu, veţi spune. Şi totuşi, în figura 49 se vede un banjo fără strune. Totul este absolut... electronic. Folosind tot montajul din figura 49, *a* şi „scîndura" din figura 49, *b*, se poate, cu ajutorul butonului potenţiometrului de 20 . . . 50 k, să obţinem aceleaşi efecte sonore ca şi prin apăsare asupra strunei dinainte. Acum sperăm că lucrurile sînt clare.

Difuzorul va fi de 4 . . . 21 ohmi/0,25 waţi şi montat în centrul instrumentului, ca în figura 48, *b*.

Butonul de reglaj al potenţiometrului va trebui să fie cu un diametru convenabil spre a nu reda note... false.

Banjo-ul este un instrument specific insulelor din Pacificul de Sud, şi are un sunet continuu, făcînd trecerea de la o notă la alta nu în trepte (tonuri distincte) ci prin lunecare ca „glisando" la violină. Mai are caracteristic şi un efect de tremolo.

În fond este vorba de un instrument care cîntă din... potenţiometru şi reglează în limite largi o bandă de frecvenţe, produsă de un oscilator cu mai multe timbruri.

Cele trei butoane fixate pe gîtul instrumentului reprezintă întrerupătoarele I_1 (alimentarea), I_2 (schimbarea timbrului) şi I_3 (efecte de trecere în trepte).

Pentru a avea o audiţie mai puternică prin conectarea (linii punctate) a montajului la un amplificator se poate beneficia de o audiţie mai puternică, spre bucuria... vecinilor ce se vor crede undeva în Havai.

IMITAŢII SONORE

Intrăm într-un domeniu de adevărată satisfacţie a amatorilor de noutăţi... nedescoperite încă. De la bîzîitul ţînţarilor, zgomote de motoare, triluri de păsărele, lătrat de cîine, bubuit de trăsnet, sirenă de vapor, bizarofoane şi alte surprize care ne mai sînt rezervate, prezentate în continuare, vom trece în capitolul următor la lucruri mai... serioase.

Să nu subapreciem totuşi nici cele mai simple idei pe care le-au avut amatorii electronişti de pînă acum, deoarece orice montaj, cît de complex ar fi, are la bază o structură simplă din numai două feluri de componente : pasive (RLC) şi active (tuburi şi tranzistoare) combinate în mii de variante.

Şi noi în această lucrare am pornit de la simplu la complex. Vom exemplifica prin cîteva scheme simple posibilităţile de a imita sunete de diverse origini din natură nu numai pe cele muzicale.

Am fi dorit să construiți un complex sonor, capabil să imite diverse păsări, animale precum și multe alte sunete dar ar fi mai greu pentru un salt așa de mare.

De aceea ne vom limita tot la seria montajelor simple, realizabile cu mijloace modeste, aflate la îndemîna tuturor cititorilor.

Este necesar să cunoaștem că, de la acest punct, părăsim montajele semielectronice și pătrundem în sfera schemelor pur electronice, începînd cu imitațiile sunetelor naturale.

În principiu, un sistem pentru acest scop constă dintr-un generator de semnale AF (de ton), un amplificator de joasă frecvență și un difuzor (fig. 43, *c*).

Elementul de bază folosit în aparatura modernă de sonorizare este oscilatorul electronic. După cum se știe, urechea umană poate auzi sunete cu frecvența 16 . . . 20 000 Hz ale căror intensități încep cu valoarea 5×10^{-5} N/m^2 (presiuni mai mici de o milionime de gram forță pe cm^2).

Se mai știe că oscilațiile pot fi de formă sinusoidală, dreptunghiulară, în dinți de fierăstrău, în impulsuri și de formă nesinusoidală (fig. 50, *a*). Cel mai „curat" sunet ce poate fi ascultat este sunetul produs de *oscilații sinusoidale* generate de un oscilator de joasă frecvență. Semnalele de formă nesinusoidală conțin pe lîngă frecvența de bază și o serie de frecvențe armonice.

Din schema bloc a oscilatorului se vede că el este format dintr-un amplificator *A* și un circuit de reacție *B* care cuplează intrarea cu ieșirea amplificatorului (fig. 50, *b*). Cu alte cuvinte se aduce, prin intermediul circuitului de reacție (format din rezistoare, capacitoare și bobine), o parte din tensiunea de la ieșirea unui amplificator și se aplică *în fază* cu cea de la intrare.

Astfel, în loc ca oscilațiile să se amortizeze, pierderile de energie vor fi compensate și oscilațiile vor fi întreținute, cu amplitudine constantă adică amplificatorul se „autoservește" permanent cu semnal, generînd o oscilație electrică, cu condiția ca $A \times \beta = 1$ (relația lui Barkhausen), *A* fiind amplificatorul, iar β — factorul de transfer al circuitului de reacție pozitivă prin care amplificatorul se transformă în generator de semnal.

Elementul de amplificare este un tranzistor iar circuitul de reacție poate fi format din *L* și *C* sau *R* și *C*. În electrofonie se folosește frecvent ultimul tip de oscilator — *RC*, fiind comod și superior în generarea de frecvențe variabile, mai ales în blocurile de efecte speciale și imitații sonore.

În figura 50, *c* se reprezintă un oscilator audio cu reacție pozitivă, cu două tranzistoare complementare de tip npn, de putere medie (dar se pot utiliza și tranzistoare de putere mică). Semnalul este readus din colectorul lui T_2 pe baza lui T_1 prin capacitorul 5 . . .50 nF și întreținut.

Schimbarea frecvenței generatorului se face cu ajutorul rezistorului *R* de 500 kiloohmi. În cazul instrumentelor muzicale cu „multiton" se folosesc o serie de potențiometre semireglabile, comutabile prin claviatură, pentru fiecare ton muzical avînd cîte o clapă.

În afară de generatorul de oscilații sinusoidale de audiofrecvență, descris

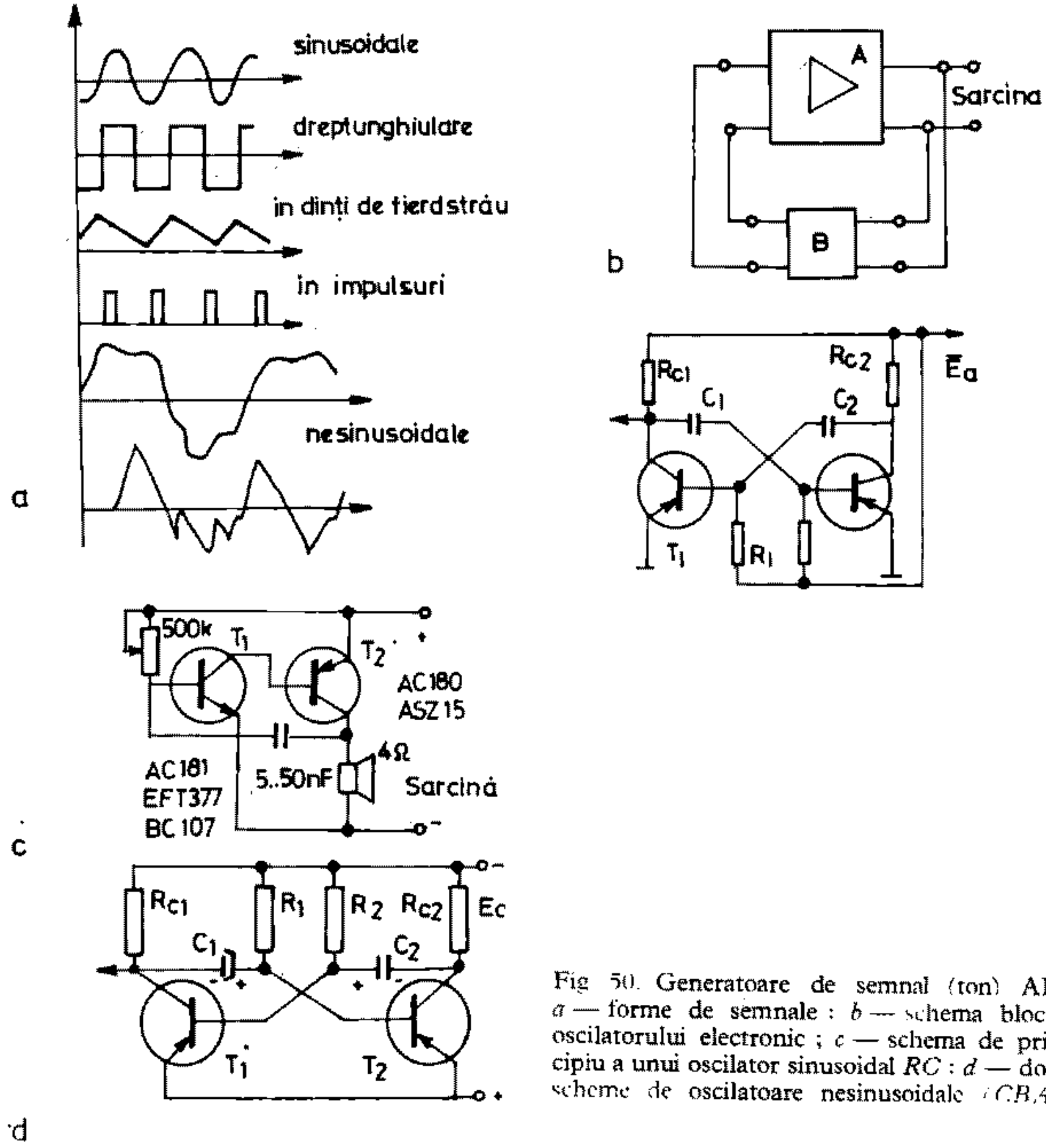


Fig 50. Generatoare de semnal (ton) AF: *a* — forme de semnale : *b* — schema bloc a oscilatorului electronic ; *c* — schema de principiu a unui oscilator sinusoidal *RC* : *d* — două scheme de oscilatoare nesinusoidale (CB,4

mai sus, care dă sunete cu un singur timbru, se mai folosesc și alte tipuri de oscilatoare care pot genera oscilații nesinusoidale a tensiunii de audiofrecvență, fie prin folosirea circuitelor *LC*, în care se forțează gradul de reacție (acroșează) obținîndu-se generatoare blocate, fie utilizînd scheme de așa-numite circuite basculante.

Circuitele basculante se clasifică după numărul stărilor stabile și anume :

— circuite basculante bistabile (CBB) — cu două stări stabile ;
— circuite basculante monostabile (CBM) — cu o stare stabilă ;
— circuite basculante astabile (CBA) — fără stare stabilă.

Dintre tipurile de oscilatoare nesinusoidale, cel mai răspîndit este oscilatorul de semnale dreptunghiulare, sau *multivibratorul* (circuitul basculant astabil *CBA*).

Schema de principiu a unui asemenea oscilator (fig. 50, *d*) arată că montajul cuprinde două etaje cu T_1 și T_2 identice, *2* capacitoare și *4* rezistoare.

Caracteristica CBA constă în faptul că trece dintr-o stare în alta în mod automat, fără vreo intervenție din exterior, de aceea se mai numesc și multivibratoare. Frecvența „basculărilor" este determinată de valorile elementelor pasive ale circuitelor : $C_1 = C_2$; $RC_2 = RC_1$; $R_1 = R_2$. Practic nu se poate realiza o asemenea simetrie perfectă între brațele generatorului datorită pieselor radio.

Funcționarea montajului este simplă. Fiecare etaj, conectat cu celălalt, cînd unul conduce, celălalt este blocat, apoi situația se inversează. Cele două condensatoare C_1 și C_2 se încarcă de la sursa *Ea* prin RC_1 și RC_2. Cînd T_1 se află la saturație (adică tensiunea între colectorul și emitorul său este aproape zero) atunci T_2 este blocat. În acest caz condensatorul C_1 care se încărcase cu polaritatea minus pe armătura din stînga și cu plus pe cea din dreapta este „comutat" la masă prin colectorul lui T_1 (care are o rezistență mică). Astfel comutat C_1 începe să se descarce prin R_2 aplicînd în același timp la baza lui T_2 un potențial pozitiv, fapt ce menține blocarea lui T_2, C_2 rămînînd încărcat. După descărcarea completă a lui C_1, acesta începe să se reîncarce însă cu polaritate diferită față de situația precedentă, prin colectorul lui T_1 apare „plus" pe armătura din stînga și minus pe dreapta. T_2 se deschide și tensiunea de pe colector se transmite prin C_2 la baza lui T_1, care se blochează. Procesul se repetă prin deschiderea, cînd a unui tranzistor, cînd a celuilalt cu o frecvență dată de valorile elementelor C_1, C_2, R_1, R_2 precum și de valoarea tensiunii de alimentare *Ea*.

Forma semnalului se culege între colectorul unuia din tranzistoare și masă, avînd aspect dreptunghiular, deoarece curentul apare și se întrerupe brusc prin tranzistor.

Obținerea reacției la oscilatoarele *LC*, în caz că oscilatorul nu funcționează, se face prin inversarea legăturilor uneia dintre bobine, sau a tranzistoarelor, cu altele cu un factor de amplificare mai mare.

În continuare se vor prezenta cîteva aplicații ale *generatoarelor de ton* bazate pe aceste tipuri de oscilatoare de frecvență audio.

O SONERIE CU... CÎNTEC

Sunetul emis de această sonerie are o frecvență, după dorință, mai înaltă sau mai joasă, după valoarea capacitorului cuprinsă între 10 nF (800 . . . 1 000 Hz) și 5 nF (1 000 . . . 3 000 Hz).

Schema reprezintă un generator de audiofrecvență (fig. 51, *a*) cu circuitul oscilant *LC*. Inductanța *L* se realizează pe tole de 1,5 mm² secțiune, bobinînd

3 000 de spire cu sîrmă de cupru emailat de 0,1 mm secţiune, cu priza la mijloc. Se poate folosi şi înfăşurarea primară a unui transformator de ieşire de la radioreceptoarele care au etajul final în contratimp, sau secundarul unui transformator de cuplaj. În rest nu necesită alte explicaţii.

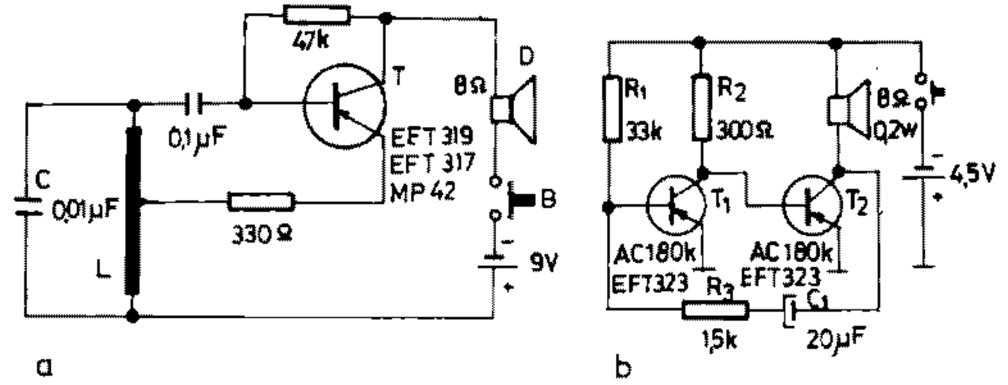


Fig. 51. Sonerie melodică *(a)* şi sonerie cu sunet *„Woody"*.

„WOODY" răspunde la soneria domiciliului său cu caracteristicul... sunet. Acesta este sunetul emis de montajul din figura 51, *b*, conceput de tînărul radioamator F. Molnar (Tehnium). Este o schemă deosebit de simplă : două tranzistoare, trei rezistoare şi un difuzor miniatural, care se pretează foarte bine la construcţia unei sonerii muzicale.

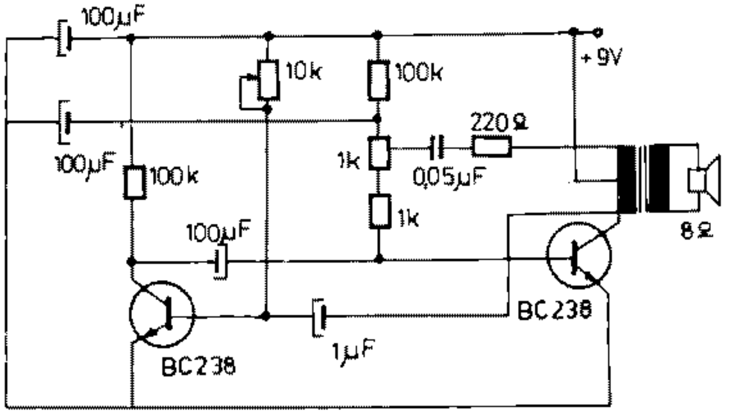


Fig. 52. Multivibrator cu sunet de triluri de canar.

Canarul... electronic, un multivibrator cu două tranzistoare BC 238 şi circuite *RC* adecvate, generează semnale nesinusoidale, traduse de un difuzor sub forma trilurilor unui canar. Cu ajutorul potenţiometrului de 1 kiloohm se obţine timbrul sunetelor. Transformatorul de ieşire poate fi unul miniatural, din etajele de ieşire tranzistorizate (fig. 52).

Multivibrator... pescăresc. Cu această „undiță electronică", pescarii amatori vor avea credibilitate la cei ce ascultă că au prins o mulțime de pești, încît n-aveau unde să-i mai pună...

Bazat pe poveștile pescărești, cum că peștii ar fi atrași de unele sunete de anumite frecvențe, un radioamator, poate și el pescar, a conceput schema din figura 53, *a*.

Montajul prezentat este tot un multivibrator (nici nu se putea altfel !) ce debitează semnal dreptunghiular a cărui frecvență poate fi modificată din potențiometrul de 10 kiloohmi.

Difuzorul este un tip miniatură cu impedanța de 75 Ω, sau în lipsa lui se poate folosi o cască telefonică. Întregul montaj se introduce într-o pungă de plastic bine închisă, să nu ia apă (fig. 53, *b*).

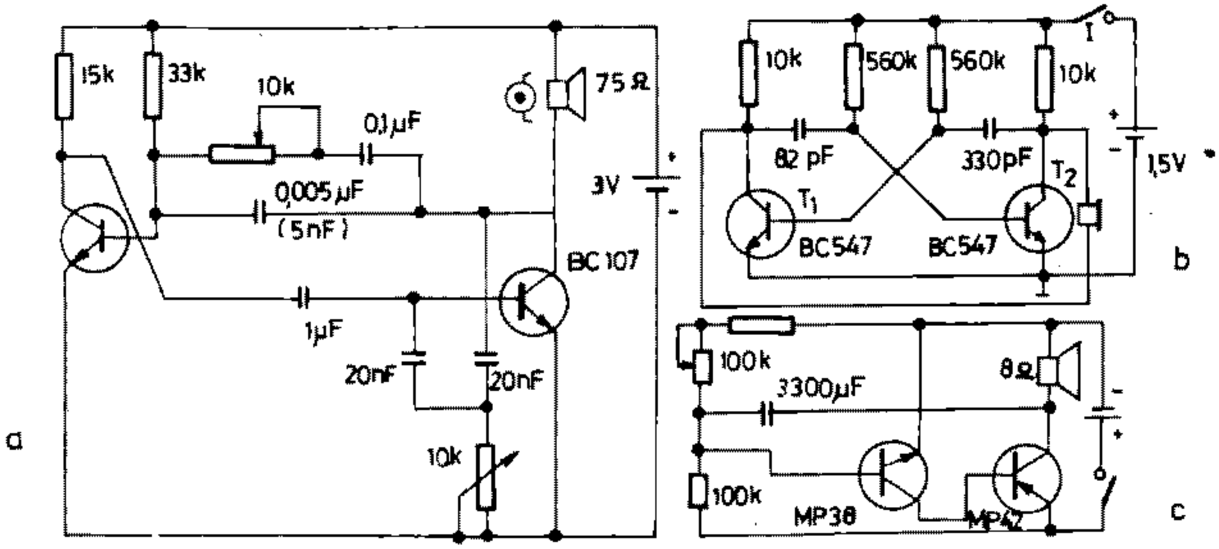


Fig. 53. Scheme de multivibratoare : *a* — pentru pescuit ; *b* — contra țînțarilor ; *c* — apărător de țînțari.

Contra țînțarilor. Montajele din figura 53, *c*, au legătură oarecum cu pescarii, ei fiind mai expuși înțepăturilor micilor zbîrnîitori. Popular, se întrebuințează fumul sau unele substanțe chimice contra acestor zburătoare.

Recent s-a constatat că și unele sunete asemănătoare cu cele emise de țînțarii masculi, produc îndepărtarea femelelor (care înțeapă neplăcut) : acestea sînt sunete ultraînalte 16 000 . . . 100 000 Hz — nerecepționate de urechea umană. Dar s-a observat că la frecvențele în jur de 10 . . . 15 kHz, femelele sînt sensibile și ocolesc sursa generatoare. Ce reprezintă aceste frecvențe ? Este interesant de cunoscut, ce legătură au țînțarii cu... electronica și acustica.

Țînțarii au căpătat faimă prin bîzîitul lor, deoarece acest bîzîit este situat, în ce privește înălțimea sunetului, la limita frecvenței și nivelul sunetelor percepute de urechea omenească, fiind folosit pentru comparații și exemple acustice de popularizare.

Frecvenţa bîzîitului ţînţarului este produsă de aripile lui în zbor şi variază între 12 . . . 16 kHz. Aceste frecvenţe nu le aud toţi şi chiar instalaţiile acustice de calitate nu tind să dea audiofrecvenţe mai mari de 12 . . . 15 kHz. Urechea noastră nu percepe nici întreaga energie acustică radiată de ţînţar 10^{-11} waţi), ci doar o parte neînsemnată. Un bun auz percepe bîzîitul ţînţarului de la o distanţă de doi metri. Cu toate acestea masa de aer care se pune în mişcare oscilatorie este aproximativ egală cu 44 kg.

Revenind la schemele din figura 53, *b*, *c*, specificăm că sunetele generate de montajul „*B*", generează un semnal cu frecvenţa de 5 kHz. Micşorînd valoarea unuia din capacitori, frecvenţa semnalului creşte. Astfel dacă în loc de 82 pF montăm 47 pF, frecvenţa creşte la peste 10 kHz.

În montajul 53, *c*, oscilatorul poate debita o frecvenţă între 1,9 şi 15 kHz. Frecvenţa se stabileşte cu ajutorul potenţiometrului de 100 kΩ. În ambele montaje se adaptează difuzoare de mici dimensiuni şi impedanţe 8 . . . 15Ω sau o cască telefonică.

La punerea în funcţiune se va observa că rotind potenţiometrul semireglabil de 100 . . . 200 kΩ, montajul emite frecvenţe din ce în ce mai înalte, pînă cînd semnalul nu mai este perceput. Fiţi atenţi cum reacţionează şoarecii, pisica şi cîinele la asemenea frecvenţe. Vor deveni nervoşi, ciulesc urechile, apoi îşi dau seama că este vorba de sunete... sintetice. Plasaţi montajul într-un vas de plastic şi lăsaţi-l lîngă fereastra deschisă seara, acoperit cu o sită. S-ar putea să mai treacă vreunul din ţînţarii familiarizaţi cu... electronica şi se vor răzbuna pe radioamatorii prea inventivi.

Electromegafon cu circuit integrat. Pentru audiţia în aer liber la competiţiile sportive sau alte utilizări, electromegafonul este o instalaţie compactă care are încorporat microfonul, amplificatorul, difuzorul cît şi sursa de alimentare (fig. 54). Este tot un dispozitiv electroacustic chiar şi muzical.

Partea principală — montajul — este de dimensiuni reduse, avînd un circuit integrat TBA 790 K cu preamplificator şi amplificator, de audiofrecvenţă, care este folosit în receptoarele de TV cu circuite integrate, avînd o putere de 2 W. El conţine 10 rezistoare, 23 tranzistoare, un capacitor de 5 pF pe o plăcuţă „cip".

Realizarea acestui electromegafon devine uşoară cunoscînd schema de principiu, tipul şi funcţiile circuitului integrat, din schema bloc (fig. 54, *a*, *b*) cît şi aspectul plăcii cu circuit imprimat, pe care se montează circuitul integrat cu piesele din schemă (fig. 54, *c*).

Rezistorul de 100 k, de la intrare serveşte ca protecţie, pentru ea în caz de deconectare accidentală a microfonului, intrarea montajului să nu rămînă „în aer". Capacitorul conectat la pinul *2* poate fi exclus nefiind necesar la CI fabricate recent.

Ca aspect CI este o capsulă cu 16 picioruşe, din care se conectează numai 9, restul servind pentru fixarea mecanică pe placa de montaj. Fişia de tablă care

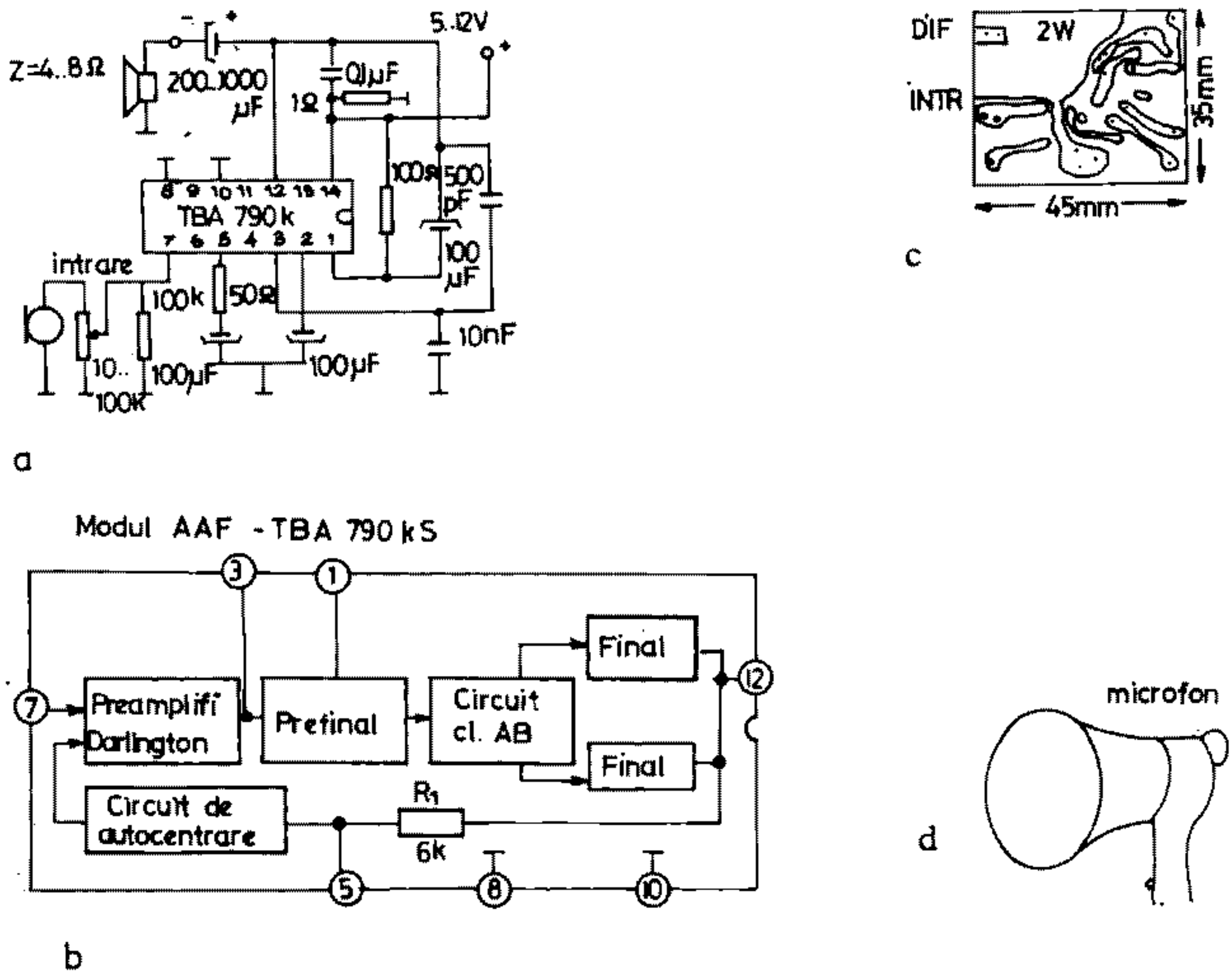


Fig. 54. Electromegafon cu circuit integrat : *a* — schema de principiu ; *b* — cablaj imprimat : *c* — schema modulului TBA 790 KS ; *d* — forma megafonului cu radiator.

iese din capsulă, trebuie lipită cu cositor, de o porțiune metalică a circuitului imprimat, pentru asigurarea răcirii CI.

Semnalul de intrare poate proveni de la un microfon, picup, casetofon etc. De aici prin potențiometrul de 25 . . . 100 kΩ se reglează volumul semnalului care prin piciorușul (pinul) *7* intră în primul tranzistor al preamplificatorului (repetor pe emitor), este apoi amplificat și redat prin piciorușul *12* și capacitorul electrolitic de 200 μF difuzorului.

După aceste cîteva montaje experimentale cu generatoare de ton, părăsim domeniul „imitațiilor" sonore care poate fi atît de vast pe cît de multe sînt sunetele din natură, începînd cu trilurile de păsărele, pisici electronice, greieri lăutari, sirene de ceață, rață măcăitoare și alte necuvîntătoare.

Concluzia la care sperăm că s-a ajuns este aceea că practic poate fi imitat, pe cale electronică orice sunet din natură. Și secretul este următorul : folosind diferite oscilatoare (LC, RC, CBA), combinate după tehnica amintită, în

funcție de analiza fiecărui sunet (frecvență, timbru, durată, ca în muzică) se pot reproduce după anumite procedee, deduse teoretic și experimental. Nu este vorba de înregistrări și reproduceri pe discuri sau benzi de magnetofon ci de sunete noi, create artificial în laborator. Chiar și vocea umană a putut fi sintetizată, deocamdată poate cu multe denaturări, pe cale de a fi corectate.

De exemplu trilurile canarului se pot imita electronic fie folosind un oscilator care să producă un semnal cu o frecvență, intensitate, timbru și durată variabile, adică lucrează cu intermitențe, după un anumit program fie de un generator de ton tip multivibrator.

Sau luînd cazul *măcăitul raței*, se folosesc trei generatoare de tip multivibrator, care se comandă între ele, fiind în montaj cascod, acționat de un releu.

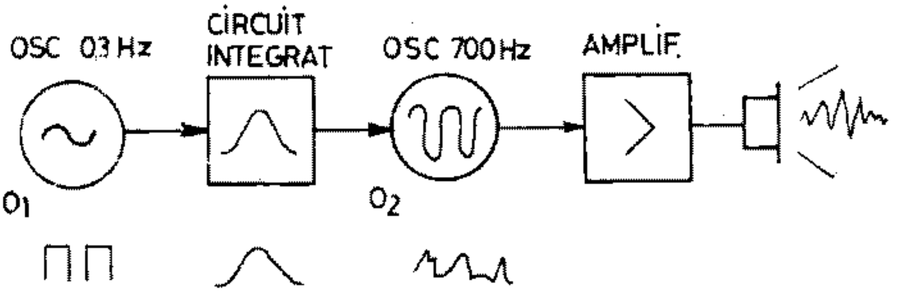


Fig. 55. Schema bloc a unui sistem de imitații sonore.

La fel, *pisica electronică* al cărei sunet se compune dintr-o frecvență de cca 700 Hz, emisă crescendo — decrescendo sub forma unor „trenuri" de unde cu o frecvență de repetiție de 0,2 . . . 0,3 Hz. Pe această analiză a spectrului sonor se întocmește o schemă bloc în care se observă forma semnalelor și combinarea celor două generatoare din care rezultă semnalul de la ieșire, sub formă de impulsuri asemănătoare „mieunatului" pisicii (fig. 55).

O sirenă mecanică, la care frecvența sunetelor poate fi mai precis determinată, va fi imitată fără piese în mișcare, numai cu ajutorul unui montaj electronic. În principiu o astfel de sirenă, cu numeroase utilizări, se compune din două oscilatoare realizate ca multivibratoare, un circuit de integrare și un amplificator de joasă frecvență cu difuzor.

Scheme cu indicații de construcție, pentru acest tip de montaj, au apărut în literatura de specialitate foarte multe, experimentate de autorii lor. În plus, se găsesc piese precum și truse pregătite cu tot ce trebuie la realizarea acestor scheme, încît nu mai insistăm asupra lor.

În bibliografia de la finele cărții sînt recomandate lucrările unor cunoscuți autori, specialiști în radioelectronică, precum și revistele „Tehnium" și, „Start spre viitor" în care apar cu regularitate noutăți originale.

Capitolul VII

Instrumente electromuzicale

În acest ultim capitol, al cărții, vom prezenta cîteva instrumente muzicale electronice, ale căror sunete sintetice sînt de mare efect și vor căpăta o mare răspîndire în viitor.

Elementele principale, care constituie un instrument muzical electronic, au fost descrise și propuse la fiecare în parte, cîte un simplu model constructiv, pentru a ne familiariza cu ele. De asemenea, prin scheme bloc a fost prezentat ansamblul tuturor acestor elemente (oscilatoare, amplificatoare, traductoare, blocuri de efect) astfel că le vom putea recunoaște în unele montaje mai complexe ce vor fi prezentate mai departe.

Începem deci cu un montaj — „do, re, mi electronic".

PORTATIVUL ȘI GAMA MUZICALĂ

S-a vorbit la „ora de muzică" în capitolul III, că gama muzicală reprezintă o înlănțuire de 8 sunete apropiate care se succed pe șapte trepte, ultima notă fiind întotdeauna octava primului sunet.

Reproducerea notelor muzicale cu vocea poate fi uneori falsă, așa că este nevoie de un instrument ajutător: pian, vioară, diapazon, camerton. Dar electronica omniprezentă, intervine și aici. Există posibilitatea de a construi cel mai simplu instrument electromuzical: portativul electronic. El poate fi folosit în școli sau acasă. Vă propunem un model simplificat avînd toate elementele unui adevărat instrument cu posibilități duble: de a exemplifica gama muzicală și chiar a executa o melodie.

Schema bloc este redată în figura 56, *a*. Pe o tablă de lemn avînd dimensiunile 200/150 mm, va fi desenat portativul cu vopsea de culoare albă, pe fond negru. Se vor marca notele muzicale cu un cerc (50 mm diametru), iar în interiorul fiecărei note se vor fixa cu mici cuie sau șuruburi cîte un disc de tablă inoxidabilă, puțin mai mici în diametru.

Mai înainte de fixarea discului, se va practica în lemnul tablei un orificiu prin care să poată trece conductorul izolat, care lipit, va face legătura între „note" și oscilator, prin intermediul unui reglete cu contacte.

Se va confecționa apoi un „stilus" dintr-un simplu pix mai lung, căruia i se va lipi un cordon flexibil ecranat pentru a face legătura între oscilator și nota respectivă.

Oscilatorul este de tipul circuit basculant astabil (CBA) cu tranzistoare complementare care generează cele 8 note muzicale. Componentele folosite au valorile înscrise pe schemă. Fiind un oscilator RC este necesar să menționăm că rezistoarele R_1, R_2, R_4 sînt rezistoare semireglabile, ca și rezis-

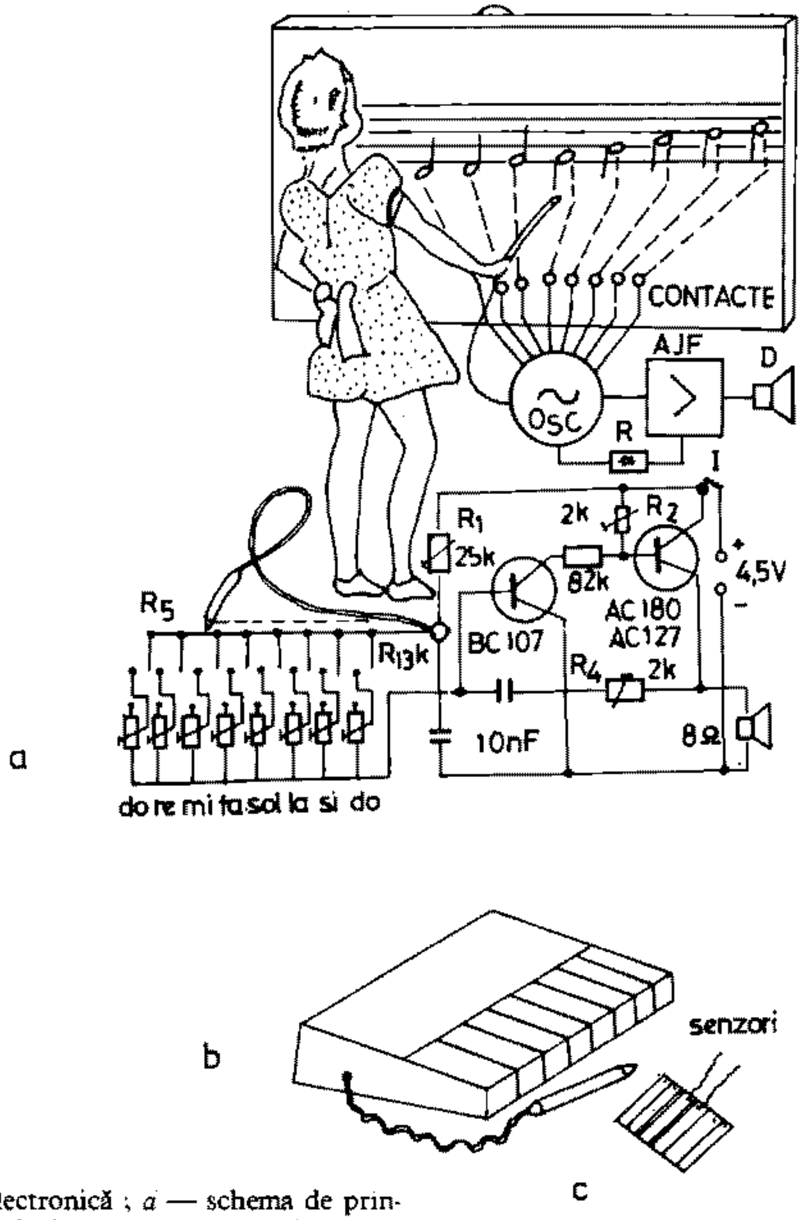


Fig. 56. Portativul și „gama" electronică ; *a* — schema de principiu ; *b* — variantă cu claviatură ; *c* — senzori.

toarele pentru formarea frecvenţelor $R_5 - R_{13}$, care sînt tot semireglabile avînd fiecare valoarea de 5 kiloohmi.

Reglajul frecvenţelor notelor (acordajul) se face folosind un diapazon (nota *„la“* — 440 Hz), un generator audio (frecvenţmetru) sau după claviatura unui pian, prin rezonanţă cu nota dată.

Metoda constă în rotirea cu şurubelniţa a axului potenţiometrului semireglabil corespunzător notei respective. Despre un acordaj corect, se vor da amănunte la instrumentele polifonice (pian — orgă electronică).

În cazul cînd montajul se introduce într-o carcasă, în formă de pian (fig. 56, *b*) căruia i se montează o claviatură, după descrierea ce va fi făcută la construcţia unui pian electronic, atunci nu mai este nevoie de tablă şi montajul va deveni un instrument monofonic (soloton) cu care se poate executa o melodie simplă.

În locul claviaturii mobile, se poate confecţiona o claviatură falsă, decupată dintr-o placă de pertinax acoperită cu cupru, pentru montaje imprimate, pe care se grevează cu ajutorul unui vîrf ascuţit, conturul clapelor, izolînd astfel printr-un spaţiu de 1 . . . 2 mm, lăcuit cu lac de polistiren porţiunile separate prin gravare.

După ce se perforează cît mai fin fiecare clapă, se lipeşte într-un loc discret, la capătul dinăuntru al clapelor, cîte un fir de conexiune, iar celălalte capete ale firelor se vor lega la partea liberă a celor 8 rezistoare semireglabile (bineînţeles claviatura nemaifiind acum mobilă ci fixă). Cordonul folosit la tablă nu va mai atinge notele ci cîte o clapă fixă şi în difuzor se vor auzi notele contactate, fără efectul vibrato bineînţeles.

Claviatura cu senzori. Este un nou procedeu de a face contactul clapelor cu oscilatorul, fără claviatură mobilă ci numai printr-o simplă atingere cu degetul a unor contacte de senzor. Deoarece prin degetul care uneşte cele două contacte ale senzorului înseriate cu rezistenţă de polarizare a fiecărei note, circulă un curent foarte mic (microamperi), îndeajuns pentru a pune în funcţie oscilatorul. În montaj se va folosi un tranzistor cu siliciu, care are un curent de colector *Ico* foarte mic, aproape nul (BC 107 . . . 190), sau unul cu germaniu pentru probă (EFT 317-320). Prin contactarea senzorului cu degetul (fig. 56, *c*) se aud odată cu nota respectivei clape şi alte sunete bizare : „fluierături“, „mîrîituri“ atunci cînd se apasă mai tare pe senzori. Timbrul tonurilor poate fi schimbat prin tatonarea rezistorului R_2 (2 kΩ).

Pentru a putea experimenta montajul cu senzori fără clape mobile, se va confecţiona, cum s-a specificat mai înainte, o nouă placă cu claviatură falsă, din pertinax acoperit cu folie de cupru, de la circuitele imprimate. Se vor trasa şi izola prin zgîrierea foliei de cupru, 8 clape. La rîndul ei fiecare clapă va fi despărţită longitudinal în alte două jumătăţi egale, care vor constitui cele două părţi ale unui senzor. La capătul din interiorul cutiei se vor lipi de fiecare clapă, cîte două fire izolate, care vor conduce contactul, unul la capătul liber al potenţiometrului corespunzător clapei (P_1 . . . P_8) iar celelalte capete ale firelor, unite se lipesc în montaj, la punctul *K* pe schemă.

Este un mod original de a cînta fără efort la un mic „oscilator“ cu o mie şi una de sunete.

Iată un instrument electromuzical dorit de mulți copii și tineri pentru deprinderea urechii cu sunetele unui pian adevărat. Sistemul propus spre construcție este simplu de realizat. Schema de principiu se poate înțelege mai bine dacă se execută mai întîi schema experimentală din figura 57.

Este prezentat un generator de ton cu frecvență continuu variabilă, cu ajutorul potențiometrului P_1 de 200 . . . 500 kΩ. Oscilatorul este de tipul *LC*, în care L_1, bobină cu miez de tole, poate fi orice primar de transformator de ieșire (Mamaia sau Albatros) sau de inversor de fază (dreiver). Dacă se folosește un transformator de ieșire, secundarul lui poate fi legat direct la difuzor în care caz difuzorul va fi lîngă L_1. De asemenea în locul bobinei L_1 poate fi montată bobina unei căști sau chiar o cască, care va folosi ca traductor acustic în locul difuzorului.

Alimentarea montajului se poate face și cu baterie, dar este preferabil un alimentator de la rețea, fiind vorba de diverse încercări. Transformatorul *Tr*, poate fi unul de sonerie.

Prin rotirea butonului potențiometrului P_1, se obțin cele mai diferite sunete, într-o anumită gamă și interval. Prin schimbarea capacitoarelor C_2, C_3, ca valoare se trece în altă octavă cu alt timbru (ton).

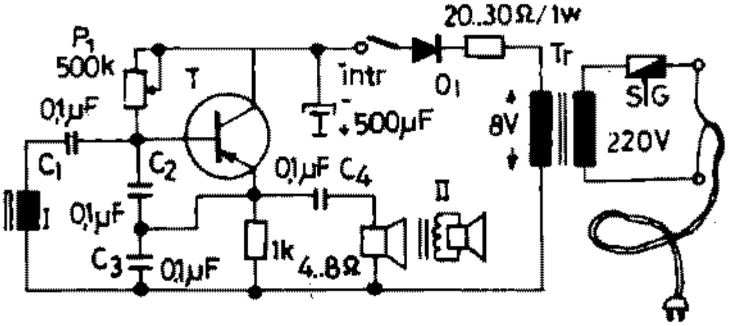


Fig. 57. Schemă experimentală pentru pian electronic

În schema din figura 58 este prezentat principiul de funcționare al pianului electronic. El constă dintr-un generator de audiofrecvență *RC* cu două tranzistoare complementare, cu forma de undă triunghiulară comandată de claviatura cu 13 clape, corespunzătoare sunetelor de la „*do*“ octava I pînă la „*do*“ octava II (după noua împărțire octava a V-a respectiv a VI-a, vezi figura 15).

Frecvența generată de un oscilator de tip multivibrator *(CBA)*, dă un semnal cu frecvență corespunzătoare elementelor pentru nota respectivă (do, re, mi...), care este modulat în amplitudine de un alt semnal cu o formă de undă aproape sinusoidală și frecvență 5—7 Hz, pentru efectul „tremolo“ (vibrato). Din combinarea celor două sunete (seria Fourier) rezultă un semnal

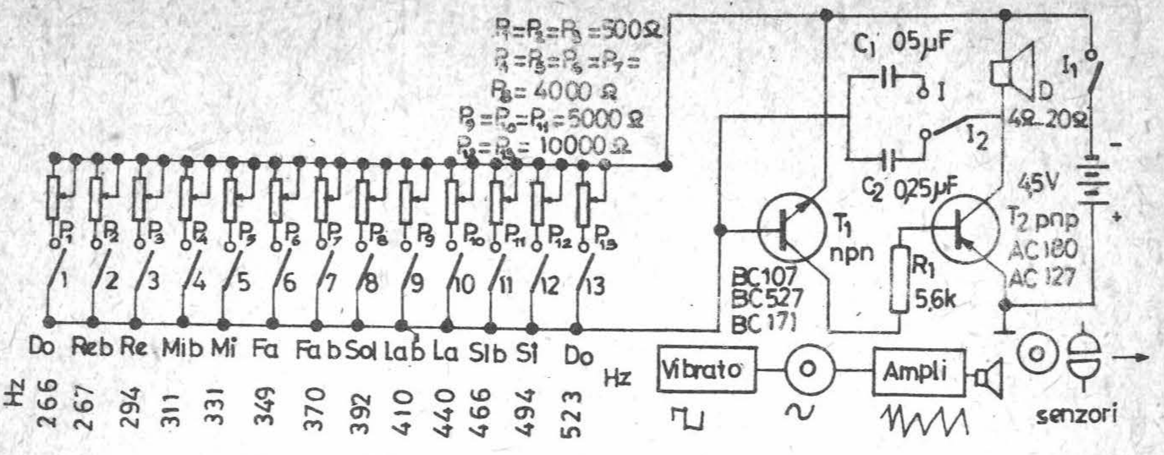


Fig. 58. Schema de principiu a pianului electronic.

cu forma de undă triunghiulară, care este condus fie într-un amplificator de *AF*, care redă sunetul în difuzor, fie la un amplificator de picup sau de putere mai mare.

Schema permite acoperirea a două octave : cu comutatorul I_1 în poziția *I* generatorul va reda sunetele din prima octavă (a V-a), capacitorul C_1 cu semireglabilii $P_1 \ldots P_2$ formînd un circuit oscilant *RC* de frecvență mai mică, iar în poziția *II* va reda sunete cu frecvență mai mare, C_2, avînd valoare mai mică ($f = 1/2\pi\sqrt{LC}$).

Pentru reglarea (acordajul) frecvențelor corecte ale notelor se poate proceda în mai multe feluri :

— se apasă clapa 10, corespunzătoare notei „*la*" și folosind un camerton sau diapazon se compară tonul pianului cu cel al camertonului, reglînd ușor potențiometrul P_{10} pînă cînd ambele sunete se suprapun (la rezonanță) ;

— în situația cînd cursa semireglabilului nu mai permite obținerea sunetului „*la*" se va schimba capacitorul C_1 (cînd frecvența ascultată este mai înaltă (mai mare) decît tonul camertonului, atunci valoarea lui C_1 se va mări și invers :

— după reglarea notei „*la*" se va trece la notele *sol*, *re*, *mi* pe care le redă camertonul, procedînd la fel, iar restul notelor se acordează după simțul muzical personal.

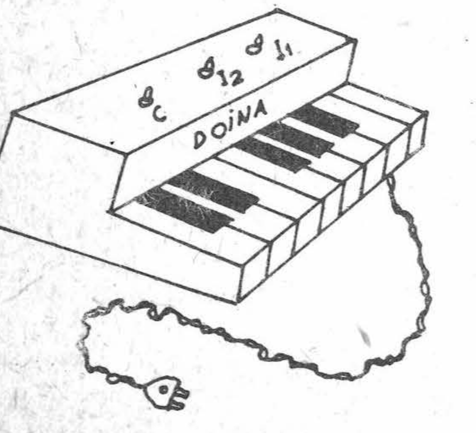


Fig. 59. Aspectul constructiv al pianului electronic.

Deocamdată acesta este un acordaj provizoriu, unul de bună calitate, de exemplu un frecvențmetru, sau un alt instrument cu sunete fixe (pianul) despre care se va vorbi mai departe la acordarea orgii (fig. 59).

Se menționează că odată cu căderea tensiunii bateriei de alimentare,

frecvenţa devine instabilă, astfel că se recomandă utilizarea unui mic redresor-stabilizator care să poată oferi o tensiune de 9 V şi un curent de circa 50 mA, stabilă.

Vă propunem o soluţie care să simplifice şi să scadă preţul de cost al montajului. În locul potenţiometrelor semireglabile se pot pune rezistoare fixe de valoarea celor aflate prin tatonarea frecvenţei, la fiecare notă cu ajutorul unui potenţiometru, măsurîndu-l cu un ohmmetru.

Claviatura pianului cu cele 13 note (8 tonuri + 5 semitonuri) ridică oarecare probleme.

— O primă soluţie, cea mai simplă, ar fi să se folosească un pian-jucărie, exact cu 10 – 13 clape la care să se fixeze doar contactele electrice necesare.

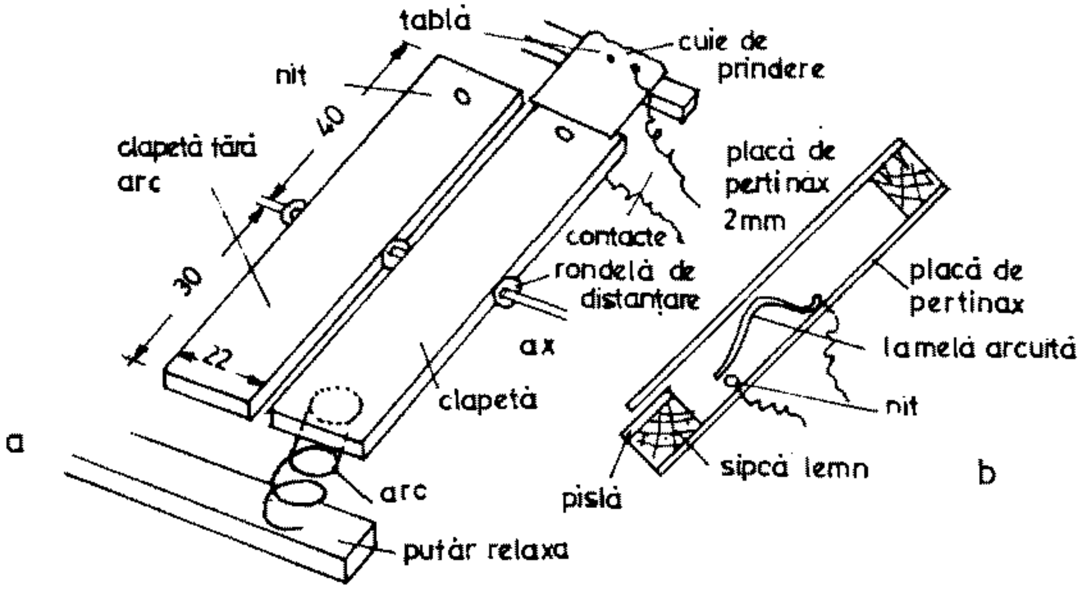


Fig. 60. Claviatura pianului : *a* — clape cu arc ; *b* — clape cu lamelă arcuită în secţiune

Pentru instrumentele simple, aşa cum sînt cele recomandate aici, amatorul se poate angaja să confecţioneze o claviatură de 1 – 2 octave, în care scop se dau unele sugestii practice.

— Prima modalitate constă în a decupa din placaj gros, sau melaminat cu alb (se găseşte gata pregătit sub formă de planşete de bucătărie la magazinele cu articole de menaj) 13 clapete de dimensiunile şi forma din figura 60, *a*. Se şlefuiesc marginile şi se vor înşira pe un ax de oţel cu diametru de 4 mm, aşezînd între ele cîte o şaibă-distanţier (1 mm).

Revenirea clapei în poziţie orizontală se face, prin alegerea centrului de greutate puţin spre extremitatea clapei care se află în cutia pianului. Astfel apăsînd pe clapetă, ea revine fără intervenţia vreunui resort, în poziţia iniţială. La fiecare clapetă se fixează contactele electrice ca la clapeta cu arc (fig. 60, *a*).

— Alt sistem de claviatură este redat în aceeași figură, dar au în plus montat un arc spiral realizat din sîrmă de oțel de 0,25 . . . 0,3 mm, iar lungimea destinsă de cca 20 mm. Contactul electric constă dintr-un nit de cupru fixat la 3 mm de margine și o plăcuță de alamă plasată ca în figură la 2–3 mm de nit.

— Ultima variantă, prezentată în figura 60, *b*, prezintă un model de clapete puțin mai elaborat. Pe un postament de pertinax (sau placaj) de 2–3 mm grosime se montează un contact format dintr-un nit și o lamelă elastică de arc de ceas care se închide prin apăsare de clapeta cu opritor, fixată cu șuruburi mici pentru lemn într-o bară de lemn cu secțiune pătrată.

Dintre toate cele patru soluții propuse, constructorul amator va utiliza pe aceea mai avantajoasă pentru sine.

Reamintim că la pianul electronic descris mai sus, se poate interpreta o melodie doar cîte o notă la rînd, fără acorduri de mai multe note sau acompaniament la mîna stîngă, deoarece posedă un singur oscilator care generează cîte o frecvență numai. Este un instrument *monofonic*.

Se poate construi totuși, pe același principiu, un instrument *bifonic*, care dă posibilitatea interpretării melodiei cu cîte o notă la rînd (solistică) și în plus cu acompaniament la mîna stîngă tot cu cîte o notă la rînd.

Pentru aceasta se realizează 2 oscilatoare identice cu claviatură dublă (12 + 12 clape) una pentru octava 4 și alta pentru octava 5 (vezi fig. 16) de la 123 . . . 586 Hz. Fiecare oscilator generează semnale acordate pentru octava respectivă, astfel că se poate cînta la... două mîini, deci cu acompaniament.

ORGĂ ELECTRONICĂ CU TREMOLO

Este un instrument mai simplu spre deosebire de orga clasică cu tuburi rezonatoare de mari dimensiuni și cu instalații mecanice complicate. Orga electronică are dimensiuni reduse și este transportabilă.

La fel ca la pianul electronic și la orga electronică sunetele sînt generate de grupuri de oscilatoare sinusoidale, asupra cărora acționează o serie de montaje (blocuri) de efecte sonore (tremolo, Vau-Vau, UI, Vox humana etc. despre care s-a relatat în capitolul V).

Cu toate că pentru construcția unei orgi electronice profesionale se cere o mare cantitate de materiale, multe cunoștințe de electroacustică și oarecare experiență în acordajul elementelor componente, nu putem renunța la interesul prezentat de acest gen de construcție, de către cititori și vom încerca să le satisfacem dorința într-un mod cît mai inteligibil și în limita spațiului disponibil.

Apărută ca o curiozitate tehnică, pe lîngă că primele exemplare erau foarte rare, orgile electronice au ajuns azi să fie foarte solicitate și costul lor a scăzut treptat aproape comparabil cu al unui televizor. Începem „discuția" unei orgi electronice „serioase" pe etaje.

În schema bloc din figura 37, a fost redat un complex de amestec (mixer) a diferite efecte sonore, aplicabile unor generatoare de ton tip oscilator sau multivibrator. De data aceasta se va arăta la ce folosesc aceste efecte la o orgă și ce loc ocupă ele în schema generală, de unde se va deduce cum poate orga să „imite" orice sunet de instrument muzical, chiar și vocea umană (fig. 61).

Schema cuprinde 12 oscilatoare de semnale sinusoidale, prevăzute cu claviatură, divizoare de frecvență și mai multe blocuri de efecte sonore, care se introduc și se scot din circuit cu ajutorul unor comutatoare.

— *Oscilatoarele*, în număr de 12, reprezentînd gama muzicală temperată din octava a patra (*Do* — 2 095 Hz pînă la *Si* — 3 520 Hz) — vezi figura 6 — se realizează pe o schemă unică RC, astfel ca fiecare generator să fie acordat pe o treaptă a gamei muzicale.

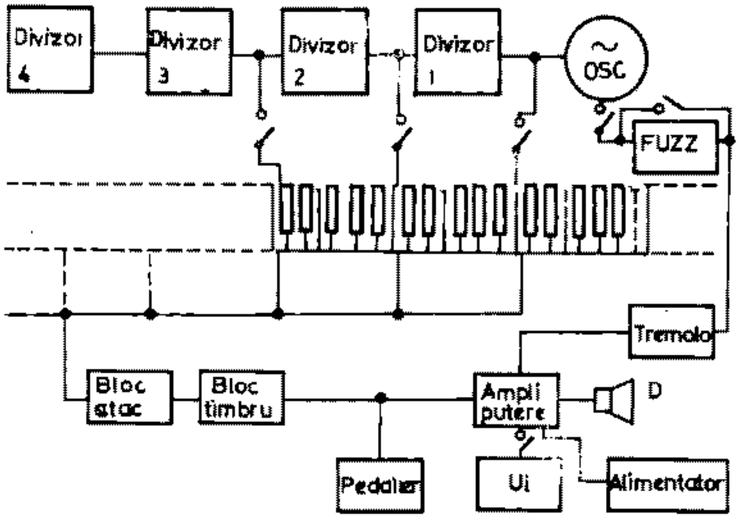


Fig. 61. Schema bloc a unei orgi electronice. cu efecte multiple.

— Divizoarele de frecvență, permit obținerea divizării frecvențelor date de generatoarele de ton, astfel ca fiecare ton din octava a 4-a să poată fi reprodus cu una, două, trei sau mai multe octave în jos. Numărul divizoarelor de frecvență depinde de numărul de octave suplimentare octavei a patra, care nu are nevoie de nici un divizor de frecvență.

— *Claviatura* este asemănătoare cu cea de la pian sau armoniu, sub fiecare clapă avînd contactele electrice.

— *Blocul de atac* servește la obținerea efectului de intonare normală (ca la instrumentele clasice), altfel sunetul ar fi emis brusc și s-ar termina la fel, producîndu-se la început și sfîrșit niște pocnituri.

— *Pedalierul* este necesar pentru reglarea volumului audiției (intensității) și poate fi acționat cu talpa piciorului sau cu genunchiul.

— *Blocurile de efecte sonore*, tremolo, vibrato, FUZZ, Ui, Vox permite o lărgire a posibilităţilor de execuţie, prin introducerea de noi sonorităţi.

— *Amplificatorul* de audiofrecvenţă, redă sunetele după puterea sa cu o intensitate dorită.

— *Agregatul de difuzoare*, unul cu o membrană eliptică sau o incintă sonoră, corespunzătoare cu puterea amplificatorului final.

— *Blocul de alimentare*, oferă tensiunea de alimentare fiecărui bloc şi poate fi general sau separat pentru amplificatorul final şi separat pentru celelalte etaje.

Acum, după ce s-a schiţat, doar, componenţa orgii electronice, se poate evalua buna pregătire, volumul de lucru, răbdarea precum şi costul materialelor pe care le solicită o asemenea construcţie.

Înainte de a asambla blocurile într-un tot unitar, este necesară o examinare şi încercare cu atenţie a fiecărei părţi din bloc. Construcţia este realizabilă în echipă, avînd avantajul că permite tuturor participanţilor o excepţională pregătire tehnică şi o satisfacţie morală deosebită[1].

Pentru posibilităţile individuale ale amatorilor începători, spre consolare, oferim totuşi o schemă realizabilă.

MINIORGĂ MONOFONICĂ

După experimentarea pianului cu un tranzistor, redăm în schemă o miniorgă monofonică cu un singur tranzistor şi difuzorul cu transformator (de la aparatele „Mamaia" sau „Albatros"). Oscilatorul este de tip LC. Valoarea rezistoarelor semireglabile $P_1 \dots P_{13}$ depinde de tranzistorul şi transformatorul folosit. În cazul de faţă, orientativ se vor folosi rezistoare de valori cuprinse între 10 . . . 200 kiloohmi, fiind un tranzistor de mică putere.

Cum bobinajul transformatorului serveşte ca element „L" al oscilatorului se va bobina un transformator de ieşire special, pentru mai multe încercări (fig. 62).

Pe un miez de ferosiliciu cu secţiunea 1 . . . 1,5 mm², se bobinează primarul cu sîrmă de cupru, izolată cu email, de 0,15 . . . 0,2 mm diametru, 700 spire + 100 + 100 cu prizele respective.

Secundarul pentru conectarea difuzorului are 50 + 50 + 50 spire bobinate cu sîrmă de cupru — email de 0,35 . . . 0,5 mm diametru. La încercarea montajului se tatonează cu care priză se asigură o audiţie maximă în difuzor.

---

[1] Amatorilor care vor să abordeze construcţia acestei orgi şi a altor instrumente electromuzicale complexe li se recomandă spre consultare lucrările cunoscuţilor specialişti în radioelectronică, constructori şi autori :

G. D. Oprescu — Instrumente muzicale electronice, Ed. Tineretului, 1965 şi Caleidoscop tehnic, Ed. Albatros, 1984 ;

I. C. Boghiţoiu — Electronica imită, Ed. Albatros, 1977 şi Electronica ajută, Ed. Albatros, 1982.

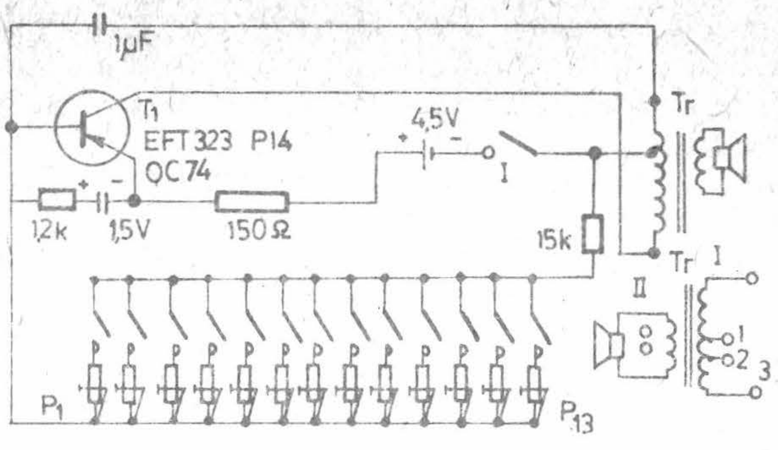


Fig. 62. Miniorgă monofonică cu tonuri și semitonuri.

Pentru acordarea instrumentului se folosește un potențiometru de valoarea 10 . . . 200 kiloohmi sau de 1 . . . 20 kiloohmi, acoperitoare a tuturor frecvențelor, în ambele cazuri de schimbare a prizelor în primarul transformatorului. Potențiometrul se plasează în locul claviaturii (semireglabililor), notîndu-se valoarea aproximativă, legate de tonurile și semitonurile gamei respective. Cu ajutorul acestor date se trece la procurarea și montarea rezistoarelor fixe sau semireglabile.

Restul lucrărilor rămîn cele relatate la construirea pianului electronic.

MINIORGĂ CU TREMOLO

Orga prezentată în figura 63 este de tipul „Soloton" cu efect de tremolo. Tranzistorul Tr_1 funcționează ca oscilator de frecvență foarte joasă (cîțiva herți). Capacitoarele pot lua valori pînă la 5µF, fără a fi critice. Urmează un multivibrator cu cuplaj prin emitor, ca oscilator.

Frecvența poate fi reglată prin potențiometrele semireglabile $P_1 \ldots P_{13}$, introduse în circuit cu ajutorul claviaturii. Valoarea semireglabililor este : 1 . . . 2 kΩ pentru frecvențele înalte (registrul ocht) ; 5 kΩ — registrul mediu ; 10 . . . 20 kΩ pentru octavele de jos. La acordaj se va folosi metoda cu potențiometrul, ca la construcțiile anterioare, începînd cu P_{13} care are nota cea mai înaltă.

Multivibratorul emite un sunet de flaut ; cînd se comută cu L_2 pe „ORGĂ" sunetul simulează, datorită generatorului de tremol, un sunet de orgă, armoniu sau acordeon.

Pe aceeași poziție se pot introduce și alte efecte care au fost redate în figurile 45, 46.

Amplificatorul este realizat $T_5 - T_6$ și T_7, avînd ca sarcină un difuzor de 4 ohmi și maxim 2 W.

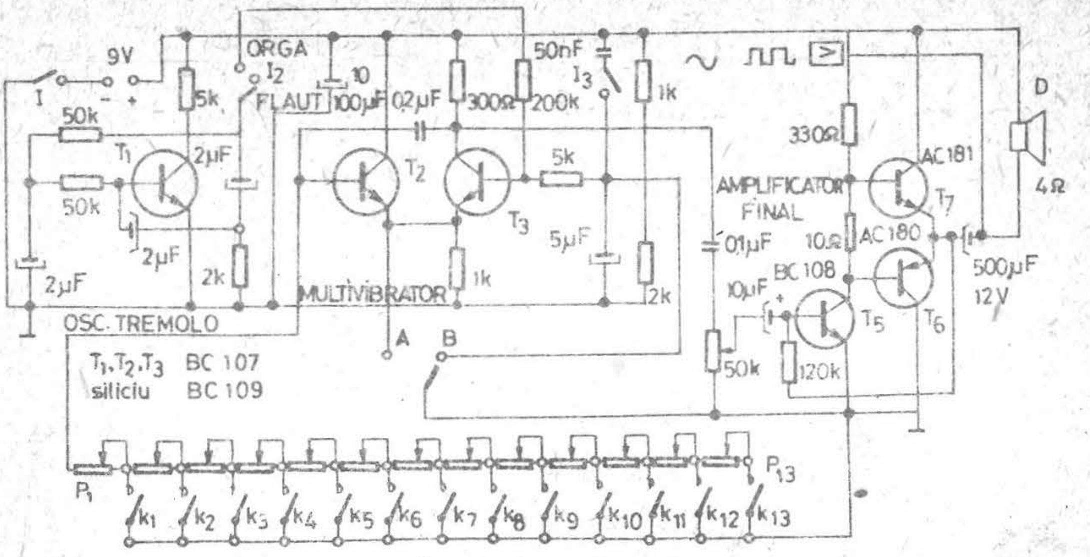


Fig. 63. Miniorgă cu oscilator tremolo și alte efecte sonore.

Sursa de alimentare poate avea valoarea de 9 . . . 12 V. Prin întrerupătorul I_3 din baza lui T_3 se introduce un capacitor de 50 . . . 100 nF pentru obținerea unui ton mai „închis“ respectiv fără multe armonici. Dacă se dispune de un amplificator de calitate, picup, radio, atunci se ia semnalul din punctul *A* sau *B*, diferența fiind de timbru, de armonici mai multe la borna *B*.

Claviatura propusă pentru această miniorgă se poate confecționa în una din variantele prezentate în figura 64. O claviatură plată, confecționată din plăci de pertinax, fixate cu șuruburi pentru lemn, acționate prin elasticitate (fig. 64, *a*) sînt cele mai, simple și sigure.. Clapele se taie după dimensiunile normale, specificate în figura 60, *a*. Sub ele sînt fixate, contactele și pentru a limita apăsarea, capătul liber se reglează pe o șipcă de lemn, cu pîslă sau relaxă deasupra, ca să amortizeze zgomotul. Clapele mici cu notele „accidentale“ se dublează și se vopsesc în negru.

Contactele se fac din mici benzi de oțel, de la arcuri înguste de ceasornice defecte. Înainte de prelucrare arcul se decălește prin încălzire la roșu și este lăsat să se răcească lent în aer. După aceea se taie, se perforează și se îndoaie după forma din figură montînd nituri de metale inoxidabile : argint, nichel, alpaca. Asamblarea claviaturii este simplă.

Un alt model de clape, apropiate ca aspect de cele normale, necesită timp mai îndelungat de lucru dar rezultatul este superior (fig. 64, *b*). Ele se prelucrează din lemn de esență tare. Pentru mîna de copil cotele se reduc la 1/2 putînd folosi polistiren sau alt material plastic. Cum s-a arătat la figura 60, se pot folosi planșete albe melaminate pentru bucătărie, ce se pot procura la magazinele de articole de menaj. Acestea trebuiesc doar tăiate și perforate, apoi se înșiră pe un ax de oțel de 4—6 mm cu șaibe de distanțare între ele de cca 1 mm.

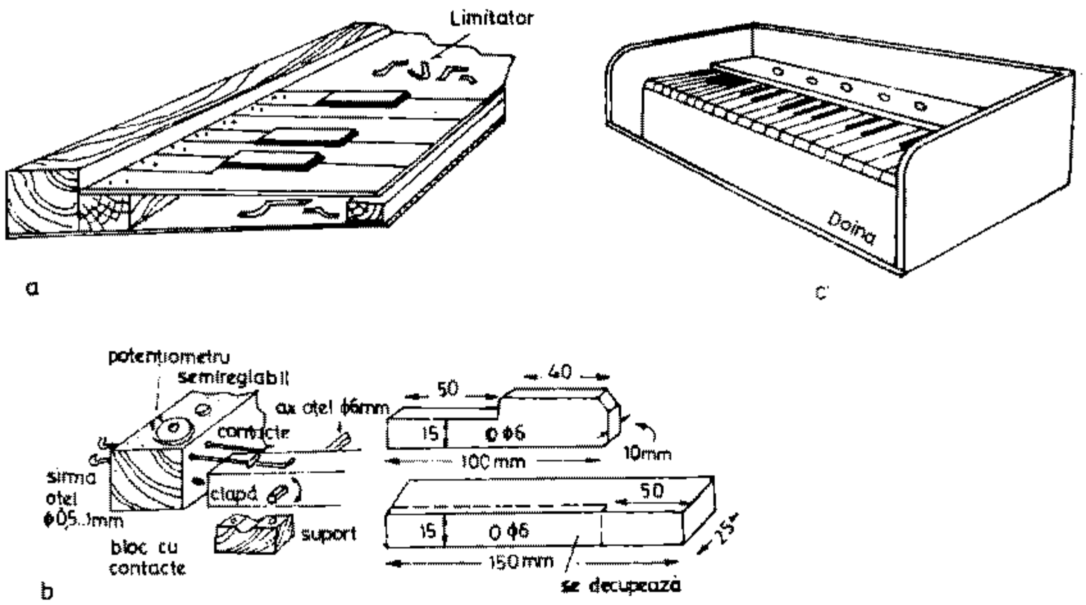


Fig. 64. Noi tipuri de claviatură : *a* — claviatură din pertinax cu contacte ; *b* — clape normale albe și negre ; *c* — claviatura unei miniorgi în cutie.

Arcurile de readucere la orizontal, care folosesc și ca piese de contact sînt desenate în figură.

Pe bare de lemn se pot monta și potențiometrele semireglabile care se conectează la contactele aflate foarte aproape. Aceste contacte se realizează foarte ușor din sîrmă de oțel cu diametrul de 0,5 . . . 1 mm și se montează la distanță de 1 mm unul de altul, pentru ca la cea mai slabă apăsare pe clapă să se stabilească circuitul cu montajul oscilatorului și amplificatorului.

La această miniorgă este recomandabil să nu se încerce construcția cu tranzistoare *npn* cu germaniu, deoarece va da rezultate nesatisfăcătoare. De asemenea și piesele celelalte trebuie să fie de bună calitate pentru a avea un instrument reglat și acordat stabil.

TERMENVOX-UL

Un veritabil instrument muzical electronic, brevetat în iulie 1921 de către inginerul-muzician rus L. S. Termen care denumise aparatul său „eterofon", prezentat cu mare succes la public în cele mai mari săli de concert ale lumii.

Ulterior tehnica avansînd rapid a creat multe alte instrumente muzicale electronice, „Termenofonul", datorită complexității lui, cu tuburi multe, a trecut în umbră, mai ales că nu se găseau interpreți entuziasmați pentru un asemenea generator de cele mai variate sunete scoase parcă din eter. Așa se întîmplase și cu alte instrumente „electrificate" primul fiind inventat de

Cahill în anul 1906, numai că Termenvox-ul a revenit azi din nou în atenția muzicienilor.

Originalitatea aparatului lui Termen — un montaj de tip heterodină, consta în faptul că obținea melodii, într-un fel magic, ca un dirijor care culege sunete din spațiu, fără a atinge vreun obiect. Se auzeau o infinitate de tonuri muzicale, cristaline, grave, eterice, variate la infinit.

Explicația este simplă : prin apropierea și depărtarea mîinilor de antenă se modifica valoarea capacității condensatorului din montaj, și prin aceasta și frecvența circuitului oscilant. Astfel se pot exploata posibilitățile sonore nelimitat. Valoarea principiului, ca simplitate îl impune atenției noastre.

Din schema bloc prezentată în figura 65, a se observa că există trei oscilatoare *LC*, montaj de amestec realizat cu dioda D_1, un filtru *F*, preamplificatorul *PA*, amplificatorul *AJF*.

Primele două oscilatoare generează aceeași frecvență f_2 dacă se apropie mîna de antena-electrod *E*, se modifică frecvența O_1 (datorită modificării capacității din grupul *LC*) devenind $f + df$. Cele două oscilații $f(O_1)$ și $f(O_2)$ sînt trimise în etajul de amestec cu D_1 unde se realizează combinațiile $(f + dF) + f$ și $(f + df) - f$. Prin filtrul *F* trece mai departe doar diferența celor două frecvențe, apărînd o joasă frecvență $(f + df) - f = df$

Frecvența df este amplificată în *PA* și în *AIF*, fiind redate de difuzorul *D*. Oscilatorul O_3 format tot din două circuite, ajută la intensificarea sunetului (reglarea volumului) și accentuarea lui. La apropierea mîinii de electrodul E_2 se obține o tensiune continuă negativă (5 V) care se aplică la *PA*, blocîndu-l.

Prin această apropiere și depărtare a mîinii de electrodul E_2 se reglează nivelul sunetului de joasă frecvență la ieșirea din preamplificatorul *PA*.

Electrodul E_1 se realizează dintr-o țeavă de aluminiu sau alamă cu diametrul de 8 mm și lungimea de 0,50 m. Se poate folosi și o antenă telescopică de la radioreceptoarele portative.

Electrodul E_2 constă dintr-o placă de aluminium, fier sau alamă, cu dimensiunile de 50/12 mm, groasă de 1 mm.

Schema de principiu arată două oscilatoare cu T_1 și T_2, din bateria frecvențelor lor rezultînd detecția semnalului în D_1 și amplificarea lui fie cu amplificatorul T_3, T_4 (tip Darlington) fie cules la cele două borne *AJ* și transmis unui amplificator exterior.

Se preferă pentru oscilatoare tranzistoare *pnp* de radiofrecvență, cu germaniu, de mică putere, întrucît emit multe armonii ceea ce dă culoare sunetului (EFT 317 . . . 318, AF 125, EFT 303 . . . 308), dar se pot întrebuința și tranzistoare cu siliciu *npn* (BC 108, BC 109, BC 190, KT 342 A, 2 N 2 694).

Bobinele L_1 și L_2 se execută pe circuite separate, plasate la distanță maximă (pe diagonala plăcii de montaj de cel puțin 10 cm) cu axele lor perpendiculare. De exemplu L_1 va fi plasată vertical, iar L_2 cu axul orizontal.

Bobinajul, pe mosor de carton cu cotele din figura 65, *c*, se execută cu conductor emailat de 0,1 . . . 0,2 mm diametru.

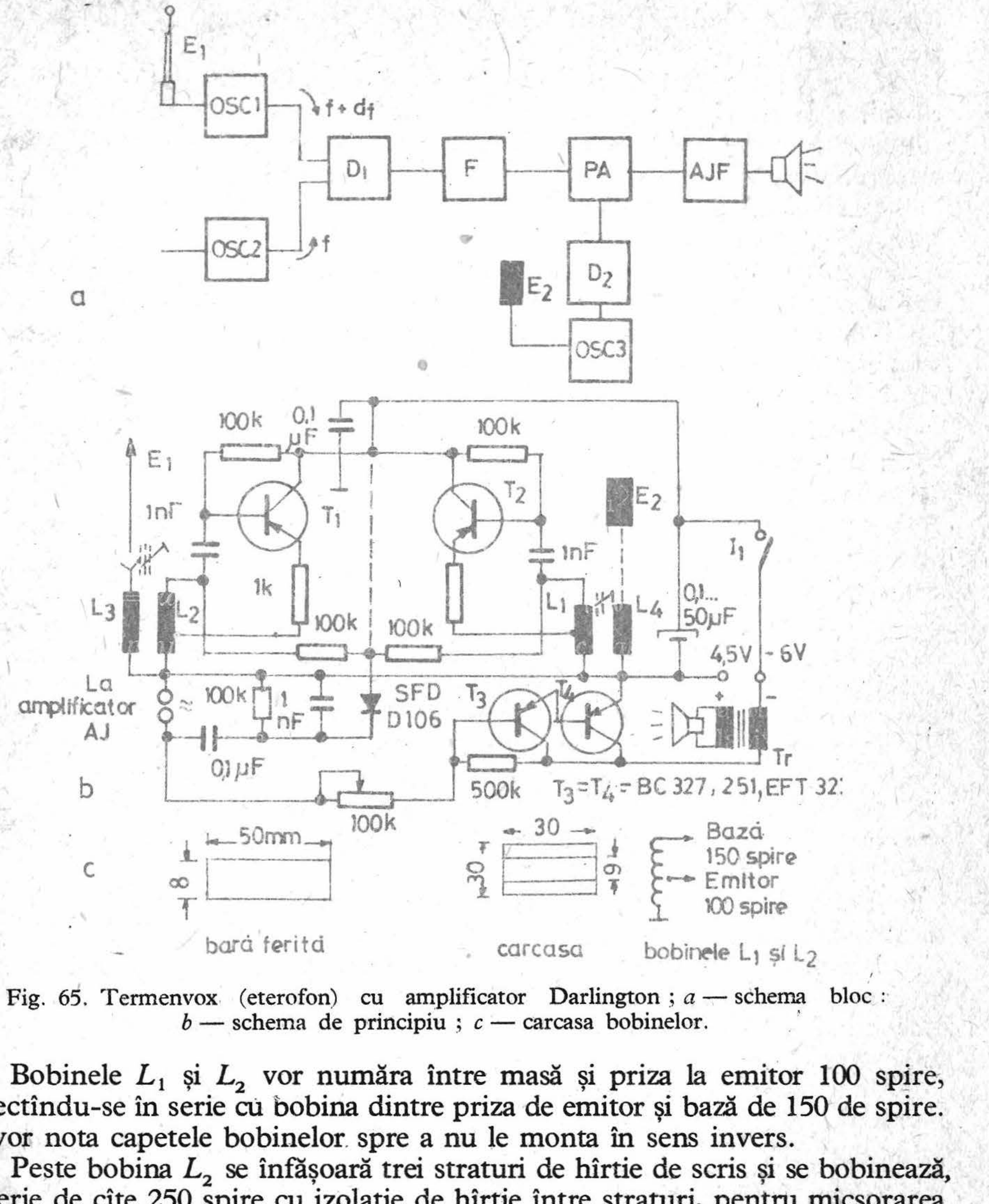


Fig. 65. Termenvox (eterofon) cu amplificator Darlington ; *a* — schema bloc : *b* — schema de principiu ; *c* — carcasa bobinelor.

Bobinele L_1 și L_2 vor număra între masă și priza la emitor 100 spire, conectîndu-se în serie cu bobina dintre priza de emitor și bază de 150 de spire. Se vor nota capetele bobinelor spre a nu le monta în sens invers.

Peste bobina L_2 se înfășoară trei straturi de hîrtie de scris și se bobinează, în serie de cîte 250 spire cu izolație de hîrtie între straturi, pentru micșorarea capacității proprii, bobina L_3 care asigură cuplajul cu electrodul E_1. În total bobina L_3 va avea 1 000 de spire, cu sîrmă emailată de 0,07 . . . 0,15 mm diametru. Se face alimentarea aparatului pentru probă.

Pentru reglarea aparatului, bobina L_1 va avea miezul de ferită trei sferturi introdus în interiorul ei și se va rigidiza cu colofoniu topit cu letconul.

Bobina L_2/L_3 va avea miezul mobil, pentru a aduce cele două oscilatoare în bătaie „nulă", adică să nu se audă nimic în amplificator. Prin mişcarea miezului bobinei L_2/L_3 se obţine un ton din ce în ce mai grav, pînă ce încetează total.

Apropiind mîna de antena E_1, tonul devine din ce în ce mai ascuţit, diferenţa de frecvenţă dintre oscilatoare crescînd, pînă ce devine inaudibilă. După mai multe încercări de redare a gamei muzicale crescătoare şi descrescătoare, în diverse tonalităţi şi octave, urechea şi mîna se vor obişnui cu mişcările.

Se poate interpreta şi la două mîini, accentuînd sau reducînd intensitatea sunetelor dacă se va introduce în circuit şi bobina L_4 cu electrodul E_2. În acest scop se va bobina ca în cazul L_2/L_3 suplimentar peste bobina L_1, încă 1 000 de spire cu aceleaşi date ca ale bobinei L_3. Capătul „cald" al bobinei L_4 se va conecta la electrodul E_2, care va fi plasat orizontal sub E_1. Pentru electrodul E_1 se va folosi mîna dreaptă (solist) iar pentru E_2 mîna stîngă. E_2 poate fi confecţionat în loc de tablă, sub formă de buclă sau cerc aşa cum a fost folosit de inventator.

Întreg montajul va fi ecranat şi introdus într-o cutie de formă paralelipipedică.

Instrumentul acesta pur electronic poate fi făcut mai interesant prin adăugarea unui etaj „tremolo" între oscilator şi amplificator (vezi fig. 47 şi 61).

VARIOFON CAPACITIV

Iată surpriza muzicală a secolului ! S-a specificat, la paragraful precedent despre fonocaptoare (fig. 44) că există doze electromagnetice, doze piezoelectrice şi doze capacitive. Primele două elemente prezintă inconveniente, fiind susceptibile la cîmpurile magnetice exterioare respectiv traductoarele piezoelectrice sînt sensibile la şocuri şi introduc zgomote supărătoare cauzate de mişcarea mîinii pe instrument. De aceea singurul sistem sigur în exploatare rămîne traductorul capacitiv.

Acest tip de traductor este folosit la „electronizarea chitarei" şi a unui interesant instrument electromuzical, bazat tot pe bătaia frecvenţelor a două oscilatoare numit „Unde Martenot".

Interesul acordat acestui veritabil instrument, cu „vocea" sa ireală şi originală, de un farmec straniu, nepămîntesc, în orchestra simfonică se datorează posibilităţilor sale inepuizabile.

Toate aceste calităţi decurg din acurateţea cu care traductorul capacitiv, care produce modificarea frecvenţelor în mod continuu, lucrează, cum de altfel o face la fel de silenţios în radioreceptoare, la selectarea staţiilor de emisie.

Caracteristica instrumentului Martenot o formează capacitorul prin care se obţine variaţia frecvenţei oscilatorului LC. În locul capacitorului variabil

obişnuit, există două armături din care una este formată din capetele unei serii de şuruburi, fixate într-o bară de alamă, iar cealaltă armătură este formată dintr-un fir metalic care se poate mişca prin faţa capetelor şuruburilor. Cele două armături sînt legate, unul la masă iar celălalt, fir cald la bornele unei bobine oscilatoare (fig. 66, *a*).

Instrumentul este acordat după sistemul egal temperat şi are o întindere de şapte octave (cît pianul) de la do_2 = 32,7 Hz la *do* = 4 186 Hz. Forma constructivă seamănă cu o pianină pe jumătate de înaltă faţă de cea clasică. Are o claviatură falsă, dar cu o scară gradată, pentru a putea repera notele muzicale dorite, de-a lungul căreia se mişcă un fel de degetar care plimbă prin faţa barei de alamă cu şuruburi cealaltă armătură a condensatorului, firul metalic flexibil.

Vibrînd degetarul în jurul poziţiei corespunzătoare unei anumite note, sunetul se îmbogăţeşte cu acel „tremolo" de la vioară sau chitara electrică.

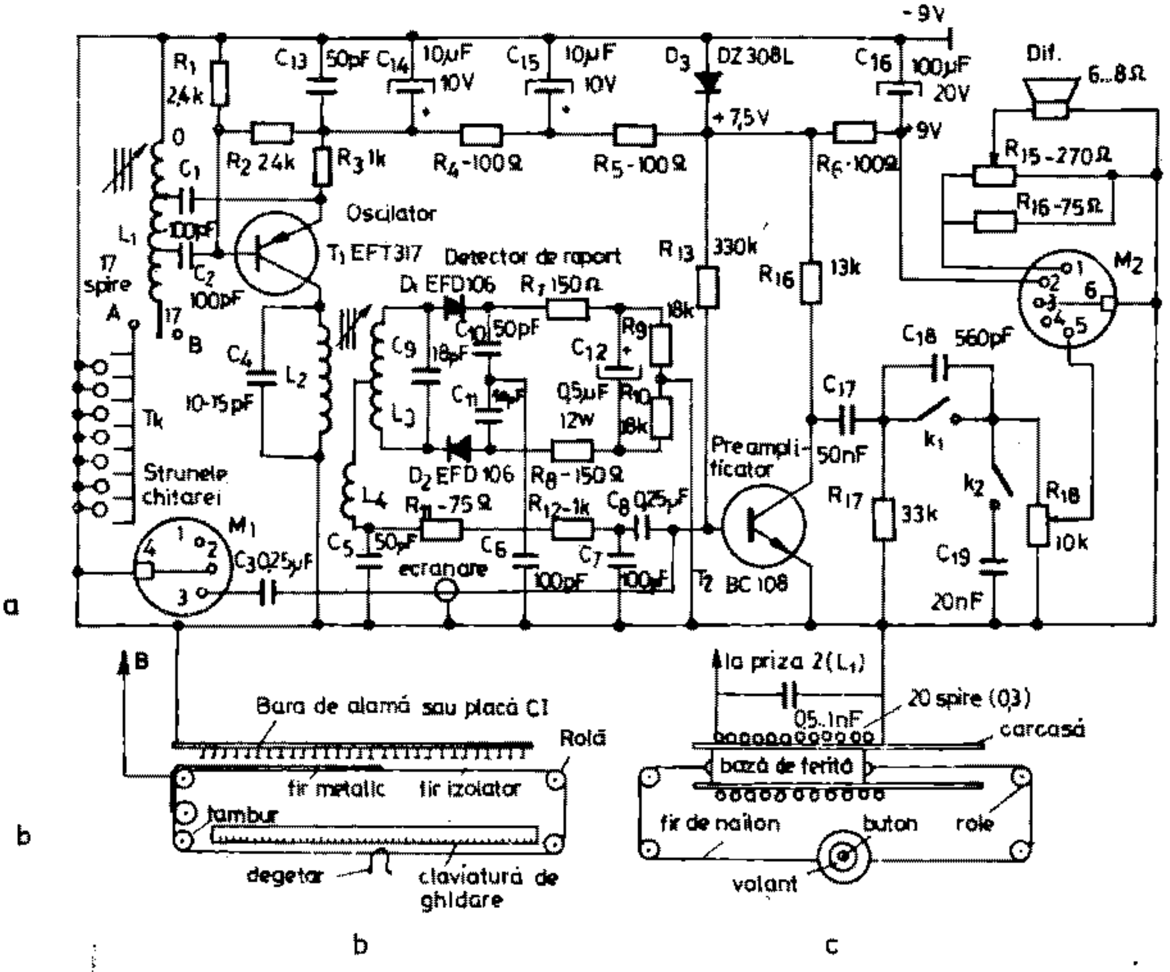


Fig. 66. Variofon : *a* — schema de principiu a oscilatorului şi preamplificatorului ; *b* — sistem capacitiv ; *c* — sistem *LC*, variabil conectat în paralel cu L_1, între masă şi priza *2*.

Construcţia unei chitare electrice, care foloseşte tot un traductor capacitiv, a fost prezentată de ing. I. Zaharia în revista Tehnium, a cărei schemă o reproducem ca fiind originală şi interesantă. Se bazează pe vibraţia coardelor chitarei în faţa traductorului capacitiv T_k, ceea ce produce variaţia în limite largi a frecvenţei generate de un oscilator, rezultînd astfel un spectru modulat în frecvenţă, asemănător cu banda de transmisie audio a semnalelor de televiziune.

Acest adaptor, redat în figura 66 combinat cu traductorul undelor Martenot poate constitui un nou instrument muzical (întrucît schema Martenot utilizează tuburi electronice) cu largi posibilităţi de exprimare artistică, în special dramatice.

Schema din figura 66 reprezintă un oscilator de radiofrecvenţă (peste 30 MHz realizat cu tranzistorul cu germaniu — T_1) din seria 317 echivalent cu P 401, OC 410, AF 116, 25 A 81 şi un preamplificator de joasă frecvenţă cu tranzistorul complementar de joasă frecvenţă cu siliciu (T_2) — BC 108, echivalent cu KT 342 A, N 2694, BC 528, 25 A 400.

Oscilatorul de tip *LC* este format din bobina cu priză L_1 şi capacitatea traductorului T_k.

Tranzistorul T_1 lucrează pe o sarcină inductivă L_2 — L_3, un detector de raport (discriminator). În acest circuit variaţiile de frecvenţă sînt transformate în variaţii de tensiune AF, din L_4 prin filtrele C_5R_{11}, $C_6R_{12}C_7$ şi sînt aplicate pe baza T_2 prin C_8 (0,25 µF) în preamplificatorul de AF.

De pe rezistorul de sarcină R_{14} a lui T_2 se culege semnalul *AF* prin K_1, amplificat şi corectat, frecvenţele înalte fiind favorizate de C_{13} care opreşte spectrul audio. Închizînd pe K_2, spectrul audio superior este condus la masă prin C_{19}.

Semnalul este condus prin R_{18} la mufa M_2 cu 5 contacte (tip magnetofon) prin firul ecranat flexibil spre intrarea amplificatorului de audiofrecvenţă, de puterea dorită.

La mufa M_1 se poate conecta un microfon al cărui semnal urmează traseul normal de preamplificare prin T_2 şi poate fi redat fie printr-un difuzor propriu schemei, folosit ca acompaniament (de putere mică 2 W), fiind reglat cu potenţiometrul P_{15} (care poate fi luat de la un difuzor de radioficare sau construit) fie printr-un amplificator cu difuzoare în incintă pseudostereofonică.

Bobinele pot fi realizate pe carcasa din material izolant, cu miez magnetic (ferită) reglabil.

Bobina L_1 (de înaltă frecvenţă) are diametrul carcasei de 8 mm, pe care se înfăşoară spiră lîngă spiră, pe un singur strat, 17 spire conductor de cupru emailat Ø 0,3 mm, cu prize la 2 şi 6 spire de la capătul „rece".

Bobinele L_2, L_3 şi L_4 ale discriminatorului se realizează similar cu L_1, pe o carcasă cu diametrul exterior de 10 mm. Pe unul din capetele carcasei se bobinează întîi 18 spire (L_2) din conductor de cupru emailat de 0,3 mm diametru, spiră lîngă spiră, pe un singur strat. Peste ele se înfăşoară o bucată de

hîrtie sau pînză parafinată sau lăcuită, peste care se bobinează 4...5 spire din conductor emailat de 0,15 mm spiră lîngă spiră (L_4). Pe restul carcasei se bobinează L_3 la o distanță de 4 mm de L_2, spiră lîngă spiră cu două fire paralele, un număr de 16 spire din conductor emailat de 0,2 mm, adică în total 32 de spire. Începutul unui conductor se va conecta cu sfîrșitul celuilalt conductor și se unește această priză mediană cu L_4.

Pe placa de montaj bobinele L_1 și L_2 trebuie să fie cît mai depărtate posibil (pe diagonală) una fiind plasată vertical iar cealaltă orizontal spre a nu produce oscilații parazite.

În cazul că montajul este folosit pentru chitară, traductorul *Tk* se va confecționa pe o placă de circuit imprimat de dimensiunile 68/43, sub forma de fîșii de folie de 0,8 mm lungi de 23 mm. Această placă va fi plasată paralel cu planul strunelor chitarei, sub ele, la distanța de 3 mm.

Pentru a genera unde Martenot, se va conecta la capătul „cald" al bobinei L_1, în locul lui *Tk*, sistemul capacitor desenat în figura 66, *a* și descris mai sus, astfel ca firul metalic flexibil care se plimbă pe role să se afle permanent la o distanță de 3 mm spre a avea un cîmp constant.

Timbrurile obținute în cele 7 octave amintesc pe cele ale unor instrumente de alamă sau lemn (corn, flaut, saxofon etc.), permițînd execuția ușoară în legatto sau în stacato, precum și a oricărei nuanțe dinamice piano sau forte, și triluri.

În orice caz se poate cînta la acest instrument mai ușor decît la vioară, pian sau flaut, chiar dacă pare ceva neobișnuit și bizar la început.

ACCESORII

Instalațiile de audiofrecvență mai comportă multe alte probleme în discuție : despre dinamică, înregistrarea sunetului, benzi magnetice, casete, instalații stereo, incinte sonore, orgă de lumini. Despre aceste subiecte s-a tratat în alte lucrări mai pe larg, lucrări pe care le recomandăm celor interesați în bibliografia dată la sfîrșitul cărții.

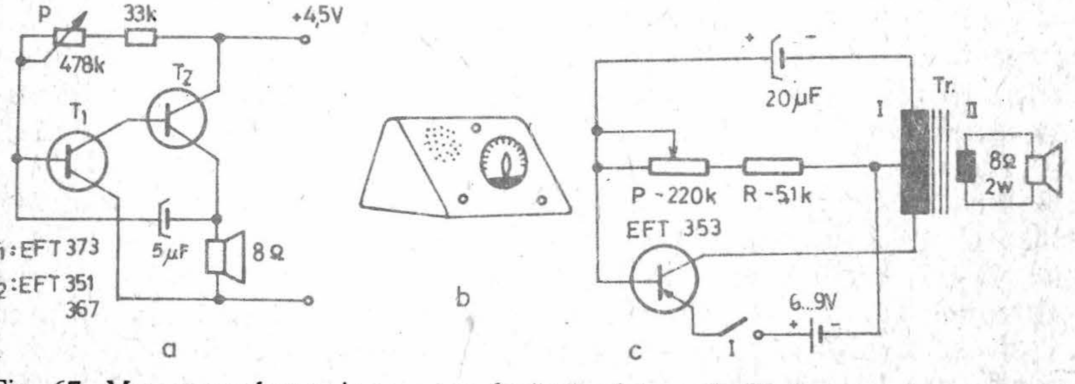


Fig. 67. Metronom electronic : *a* — cu două tranzistoare tip Darlington ; *b* — aspectul cutiei metronomului ; *c* — un transformator de ieșire.

Vom reda numai cîteva scheme de principiu : a metronomului atît de necesar în muzică, a schemei de înregistrarea sunetelor pe benzi magnetice și a unei scheme de orgă de lumini ușor de construit.

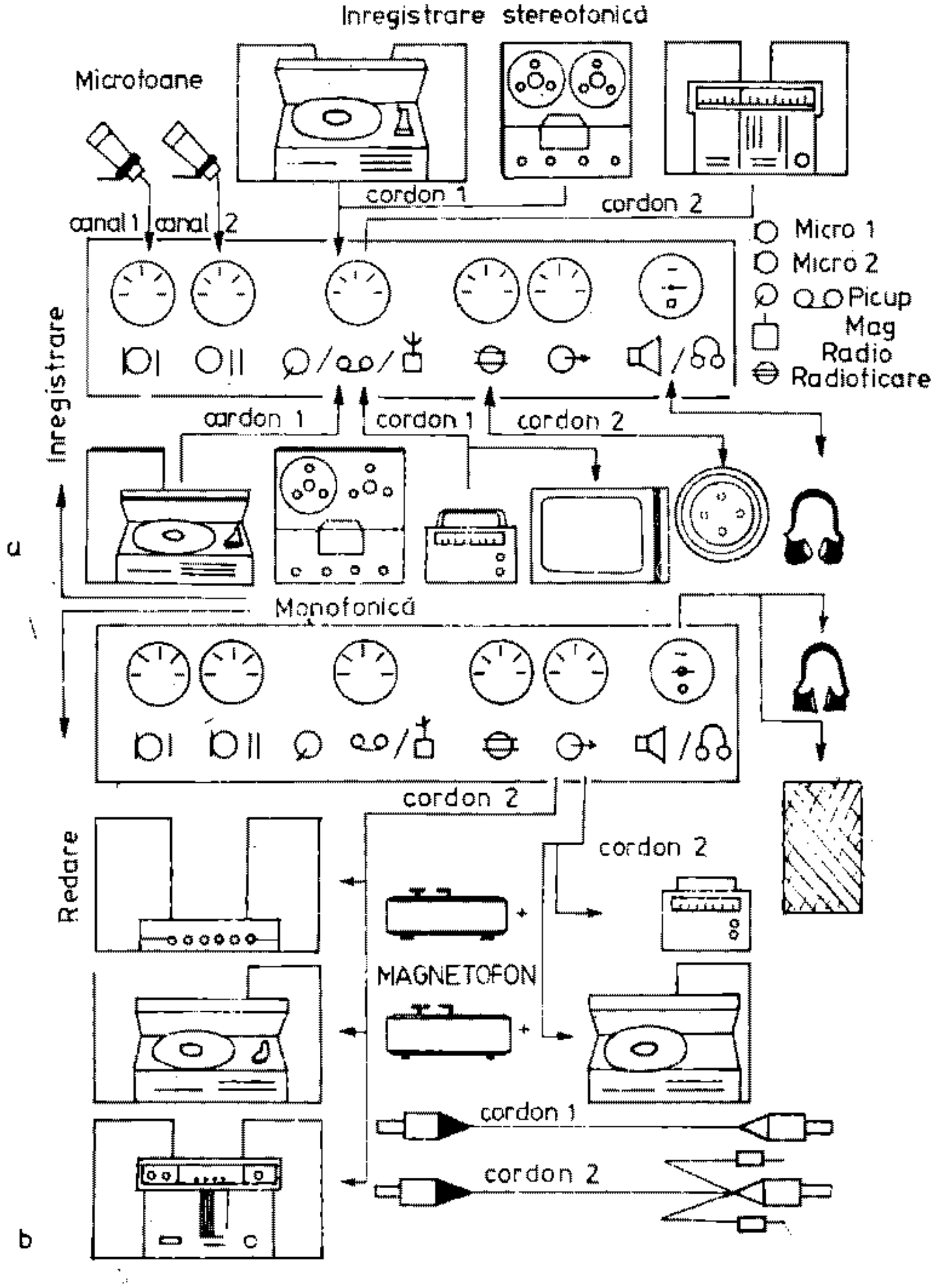


Fig. 68. Schema legăturilor electrice ale magnetofonului : *a* — la înregistrare : *b* — la redare.

Metronomul este prezentat în două variante (fig. 67), cu unul și două tranzistoare. Montajele conțin cîte un oscilator, care produce impulsuri de scurtă durată, 15 . . . 240 bătăi pe minut.

Primul montaj (fig. 67, *a*) conține un multivibrator cu tranzistoare complimentare, este ușor de construit și are dimensiuni mici.

Al doilea montaj (fig. 67, *b*), cu un singur tranzistor, are un difuzor cu transformator, deci oscilator LC și difuzor permanent dinamic.

Transformatorul de ieșire al bobinei pe un miez din tole de fier sau siliciu ($S = 3-6$ cm^2) : înfășurarea primară are $2 \times 8 = 1\,500$ spire din cupru emailat (0,15 . . . 0,20 mm diametru) iar secundarul 40 . . . 70 spire din cupru emailat cu diametrul de 0,5 . . . 0,7 mm).

Reglarea ambelor montaje se face cu ajutorul cîte unui potențiometru.

ÎNREGISTRAREA SUNETELOR

Înregistrarea sunetelor monofonice și stereofonice, de la și pe diferite surse sonore este prezentată în figura 68. Sînt indicate simbolurile surselor precum și modul de legare prin cordoane cu mufe speciale. Trebuie avut în vedere că nu toate tipurile de magnetofoane, casetofoane, radioreceptoare TV au același mod de legare a intrărilor și ieșirilor prin mufe, cu alte cuvinte se va urmări firul „cald" și masa, să corespundă la cordon cu aparatul respectiv.

ORGA DE LUMINI

Orga de lumini prezentată în figurile 69 și 70 este dintre cele mai simple, executate de tinerii radioamatori Remus Bișoc (fig. 69) publicată în revista „Start spre viitor" și Năstase Radu (fig. 70) publicată în „Tehnium". Conține trei filtre *Rc*, de culoare, în funcție de frecvența sunetului.

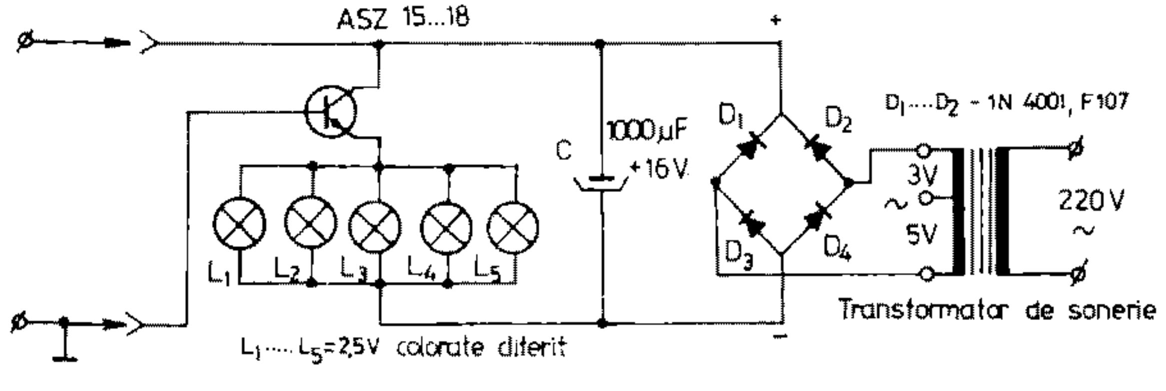


Fig. 69. Muzică și culoare electronice.

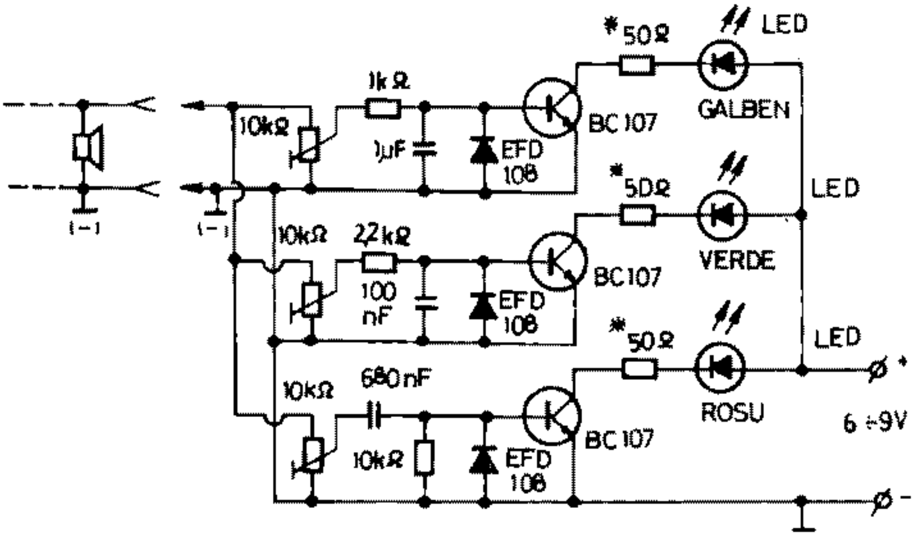
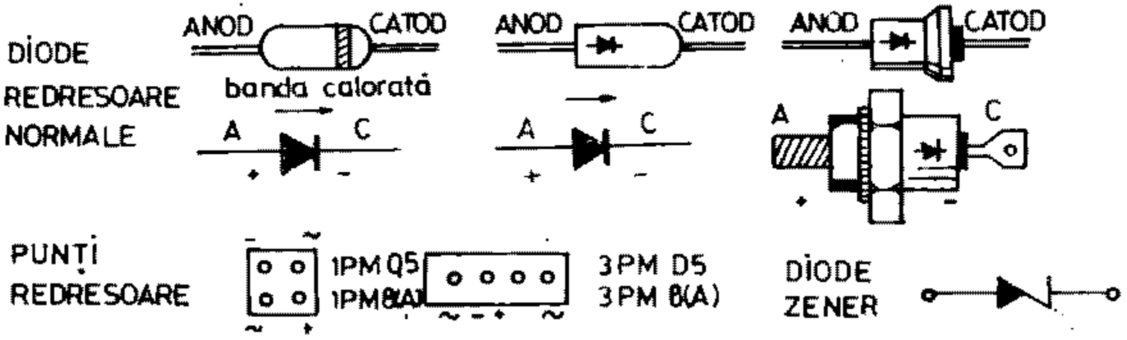


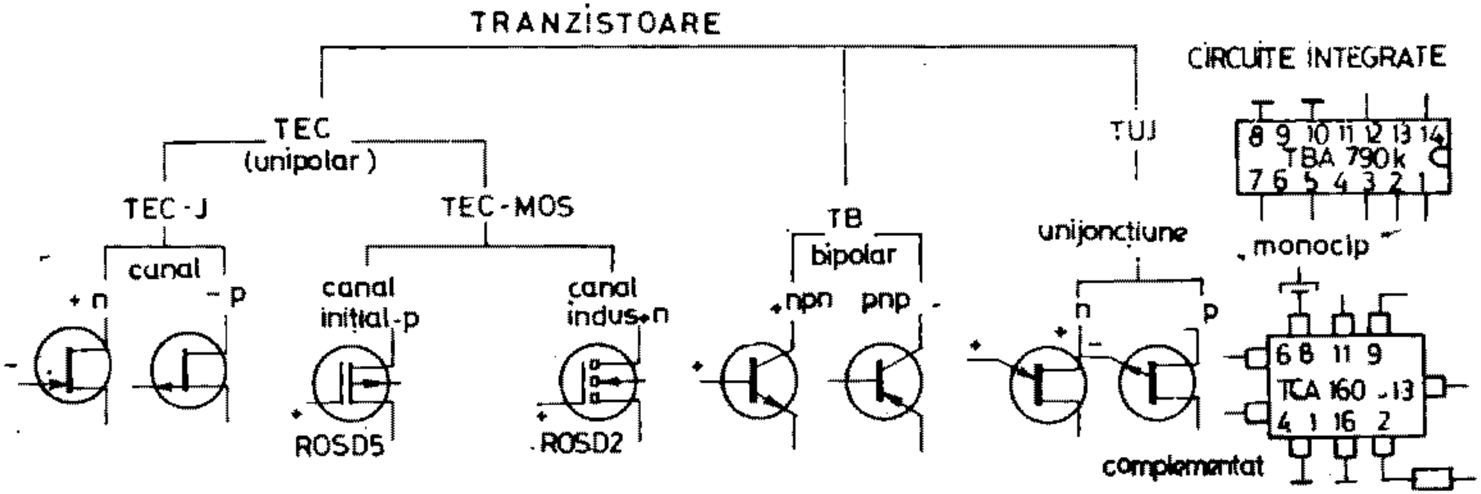
Fig. 70. Schema de principiu a unei miniorgi de lumină cu LED-uri : se poate cupla la magnetofon sau radioreceptor pentru frecvente medii, înalte sau joase.

Sînt recomandate ambele scheme ca fiind ușor de realizat, fiind experimentate, și ambele scheme pot fi adaptate la ieșirea AF a unui amplificator, casetofon sau magnetofon, cu frumoase rezultate de spectacol sunet-lumină la... domiciliu.

DISPUNEREA TERMINALELOR



EFR 105, BA157, F057, F 1D7
F 2D7, F3D7, 1N4001(A), 1N4002
1N4003-4007, BA 17D, 172
BA 157-159, DRR 114, 6DRR 4
6S 1D5, 6 S 11, 10 S 15, RA 12 D
DZ 2V7-51 (D5 W ; 2-51 V)
PL 2V7-200 (1W ; 2-200V)
10DZ6V8-180 (10W; 6-18DV)



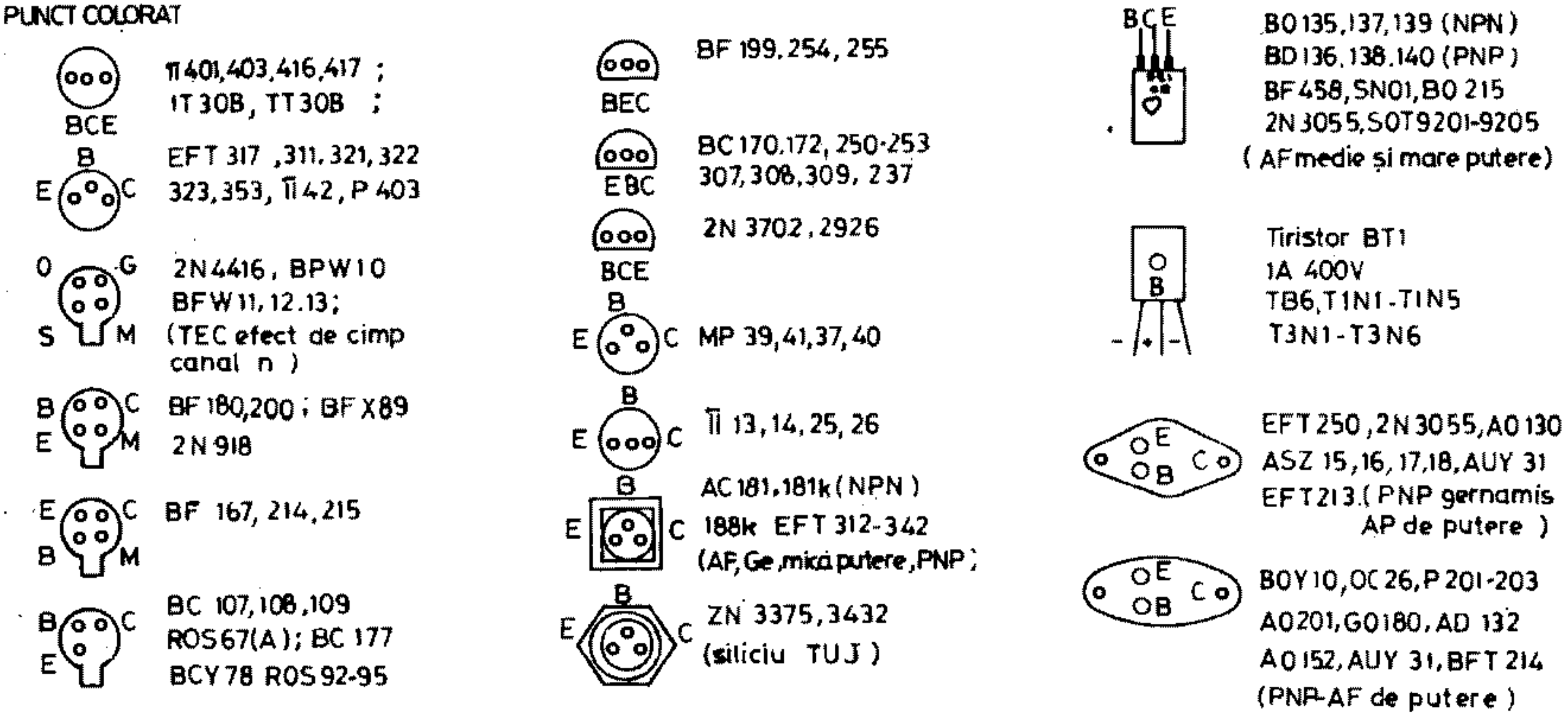


Fig. 71. Minicatalog cu tipurile de diode și tranzistoare (AF) utilizate în schemele redate în prezenta lucrare.

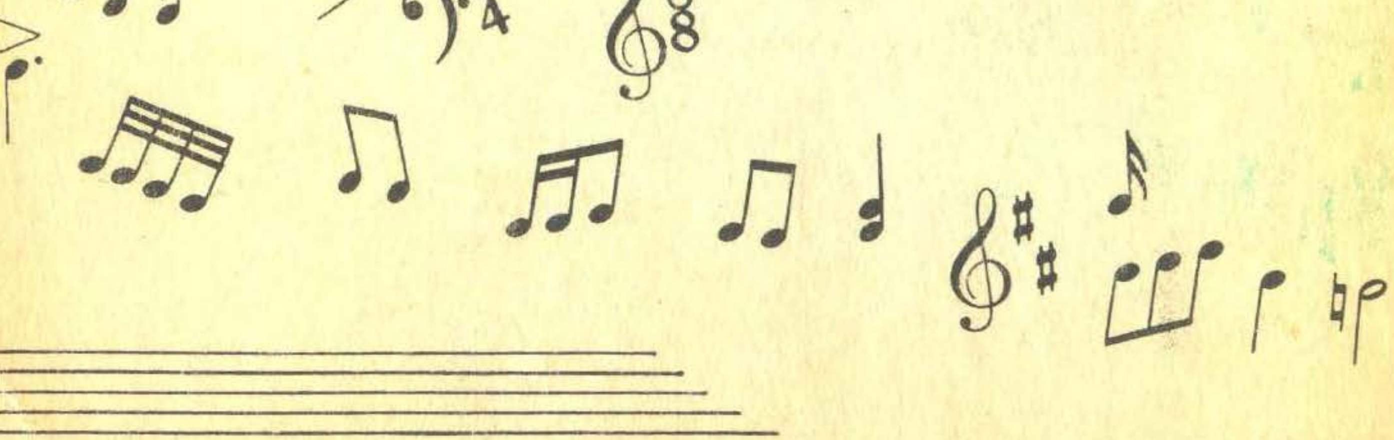
BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

1. *Urmă, Dem.*, Acustică și Muzică, București, Edit. Științifică și Enciclopedică, 1982.
2. *Grumăzescu, M.* ș.a., Combaterea zgomotului și vibrațiilor, București, 1960.
3. *Bădărău, E.*, Introducere în acustică, Edit. Tehnică, București, 1953.
4. *Anfilov, G.*, Fizica și Muzica, Edit. Tineretului, București, 1965.
5. *Pahlen, Kurt*, În lumea minunată a muzicii, București, 1968.
6. *Chailley, J.*, 40 000 ani de muzică, Edit. Muzicală, București, 1967.
7. *Bughici, R.* și *Moraru, A.*, Muzica și electronica, Edit. Muzicală, București, 1975.
8. *Boghițoiu, I.*, Electronica imită, Edit. Albatros, București, 1977.
9. *Boghițoiu, I.*, Electronica ajută, Edit. Albatros, București, 1982.
10. *Codăuș, D.*, Cercul de radiotehnică, Edit. Albatros, București, 1976.
11. *Codăuș, D.*, Radiodepanare ABC, Edit. Albatros, București, 1981.
12. *Kubarkin, L.* și *Levitin, E.*, Radiotehnica distractivă, Edit. Tehnică, București, 1958.
13. *Mihăescu, I.* și *Florică, S.*, 101 montaje electronice, Edit. Albatros, București, 1977.
14. *Mihăescu, I.*, Un tranzistor, două tranzistoare, Edit. Albatros, București, 1978.
15. *Marin, Al.* și *Mâșcă, A.*, Sonorizarea filmului de amatori, Edit. Tehnică, București, 1980.
16. *Nicolau, E.*, Radioelectronica pentru toți, Edit. Albatros, București, 1972.
17. *Oprescu, G.*, Instrumente muzicale electronice, Edit. Tineretului, București, 1965.
18. *Oprescu, G.*, HI-FI ABC, Edit. Albatros, București, 1978.
19. *Oprescu, G.*, Caleidoscop audio, Edit. Albatros, București, 1982.
20. *Oprescu, G.*, Caleidoscop tehnic, Edit. Albatros, București, 1984.
21. *Perelman, Ia.*, Fizică distractivă, Edit. Tineretului, București, 1967.

Reviste : **Tehnium,** București, 1980–1985 ;
Start spre viitor, București, 1982–1985.

Editura Tehnică

ABC SERIA INITIERE ABC SERIA INITIERE ABC SERIA INITIERE

Lei 12,50

AUTOMATICĂ
INFORMATICĂ
ELECTRONICĂ
MANAGEMENT